Lane Medical Library

Aus dem Institut für physikalische Therapie und Roentgenologie
der Universität München (Vorstand Professor Dr. G. Boehm)

Das Blutbild im Höhenklima
unter besonderer Berücksichtigung der Veränderungen bei kurzem Höhenaufenthalt

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin

verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der Bayerischen Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Dr. Willi Berten

Bayerische Druckerei & Verlagsanstalt G.m.b.H., München, Müllerstraße 27

Gedruckt mit Genehmigung der Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Meinen Eltern gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153721_0241

Zu den eindrucksvollsten Wirkungen des Höhenklimas gehören zweifellos die Veränderungen im Blutbild und hier vor allem die Erhöhung der Erythrozytenzahl und des Hämoglobingehalts. Wie neuere Untersuchungen zeigen, sind auch im weißen Blutbild deutliche Veränderungen festzustellen. In der vorliegenden Arbeit sind die wesentlichsten auf diesem Gebiet bisher gesammelten Erfahrungen zusammengefaßt, wobei das jüngste Arbeitsgebiet, das Studium über das Verhalten der Retikulozyten besonders berücksichtigt wurde. War, wie im folgenden noch näher erläutert werden soll, die Frage der Ery.[1])- und Hb.[2])-Veränderung bei längerem Aufenthalt in großen Höhen längst geklärt, so wurde dieser sichtbare Einfluß des Höhenklimas bei kurz dauernden Bergbahnfahrten oder Bergtouren bisher abgelehnt. Eigene Untersuchungen auf Bergtouren und Bergbahnfahrten im Berner Oberland, Wallis, den Hohen Tauern und Wetterstein waren zunächst der Klärung der Frage der Retikulozytenveränderungen gewidmet, die bei gleichzeitiger Beobachtung der Ery.- und Hb.-Werte zweifellos Reaktionen des erythropoetischen Apparats auch bei kurzem Aufenthalt im Höhenklima erkennen ließen.

Als im Jahre 1921 die englische Himalaja-Expedition auszog, um die Möglichkeiten und Wege einer Besteigung des 8882 m hohen Mount Everest zu erkunden, ging die Ansicht der englischen Gelehrten dahin, daß ohne künstliche Zuführung von Sauerstoff ein Leben in Höhen über 6400 m für Menschen unmöglich sei. Jedenfalls wurde bezweifelt, daß körperliche Leistungen, wie sie die Besteigung eines solchen Berges erfordert, in diesen Höhen nicht mehr möglich seien. Wohl war in der alpinen Literatur schon manche Fahrt in der 7000er Region verzeichnet, derartige Berichte wurden jedoch damit abgetan, daß sie entweder als Uebertreibungen oder wenigstens als Vermessungsfehler bezeichnet wurden.

Die englischen Angriffe auf den Mount Everest 1921/1922 und 1924, die deutschen Besteigungsversuche am „Kantsch" und Nanga Parbat der Jahre 1929, 1931, 1932 und 1934 sowie die beiden internationalen Expeditionen von Professor Dyrenfurth 1930 und 1934 haben bewiesen, daß ein Leben in Höhen über 7000 und 8000 m durchaus möglich ist; es wurden sogar mit teilweise erheblichem Gepäck Höhen von über 8500 m ohne Zuhilfenahme von Sauerstoffgeräten erreicht.

[1]) Ery. = Erythrozyten.
[2]) Hb. = Hämoglobin.

Den Berichten dieser Expeditionen ist zu entnehmen, daß das Vordringen in große Höhen zunächst mit enormen Anstrengungen verbunden war, ein verhältnismäßig kurzer Aufenthalt in diesen Höhen jedoch zu großer Leistungsfähigkeit führte. Es muß also der menschliche Körper über Kräfte verfügen, die in wenigen Tagen die Anpassung an große Höhen und den damit verbundenen Sauerstoffmangel bewirken. Frequente Atmung, Blutdruckveränderung und Steigerung der Herzaktion scheiden als Anpassungsreaktionen also nach diesem Verhalten ziemlich sicher aus, da ihre Umstellung in kürzester Zeit möglich ist. Die Anpassung an den Sauerstoffmangel dieser Regionen geschieht vielmehr nach unseren heutigen Kenntnissen in erster Linie

1. durch Vermehrung der Sauerstoffträger, der Erythrozyten,
2. durch Vermehrung des Blutfarbstoffs, des Hämoglobins.

Der französische Physiologe Paul Bert vertritt in seinem im Jahre 1878 erschienenen Werke „La Pression barométrique" die Ansicht, daß durch die Wirkung des Höhenklimas im Blut Veränderungen vor sich gehen müßten. Die Sauerstoffmenge, die das Hb. aufzunehmen vermag, ist von der in den Lungen vorhandenen Sauerstoffmenge abhängig. Diese nimmt mit zunehmender Höhe ab, die Blutzellen können immer weniger aufnehmen und es kommt schließlich zu einem ausgesprochenen Sauerstoffmangel, der sich in diesem Falle im Bild der Bergkrankheit äußert. Alle Maßnahmen, die nun zu einer Steigerung des Sauerstoffgehaltes des Blutes führen können sind geeignet, den in großen Höhen herrschenden Sauerstoffmangel auszugleichen und den Aufenthalt im Höhenklima ohne Krankheitserscheinungen zu ermöglichen. Nach Bert gehört hierher eine Steigerung der Zahl der Ery. und eine Zunahme ihres Hb.-Gehaltes sowie eine Veränderung des Hb. derart, daß es imstande ist, mehr O_2 zu binden. Bert ist allerdings der Ansicht, daß eine derartige Veränderung erst im Laufe von Generationen erworben werden könnte, wie es z. B. bei den Bewohnern der tibetanischen Hochebene der Fall ist. Er erwähnt nicht, daß auch eine raschere Akklimatisation eintreten könnte.

Die schon erwähnten Himalaja-Expeditionen haben jedoch den Beweis erbracht, daß schon wenige Wochen genügen, um eine Akklimatisation an Höhen von über 8000 m zu erreichen.

Den ersten wissenschaftlichen Beweis dieser zahlenmäßigen Veränderung der roten Blutkörperchen brachte der französische Forscher Viault, der bei Untersuchungen seines Blutes in einer Höhe von 4392 m eine Ery.-Zahl von 7,5 bis 8 Millionen pro cmm feststellte, nachdem Untersuchungen, die wenige Wochen vorher in Lima in Meereshöhe angestellt wurden, ein Ergebnis von 5 Mil-

lionen Ery. gezeigt hatten. Hiermit ist also die Ansicht Berts, daß es unter der Wirkung des Höhenklimas zu einer Steigerung der Ery.-Zahl kommt, bewiesen, jedoch die Ansicht, daß dazu eine Anpassungszeit über Generationen notwendig sei, widerlegt.

Es folgten nun in den kommenden Jahren eine Reihe von Zählungen der Ery. in den verschiedensten Höhenlagen. Diese Zählungen ergeben ohne Ausnahme eine deutliche Zunahme der Zahl der roten Blutkörperchen pro cmm Blut, und zwar ist diese Zunahme um so deutlicher, je höher der Untersuchungsort über dem Meeresspiegel liegt. Die folgende Tabelle, die zum Teil A. Loewy's „Physiologie des Höhenklimas" entnommen ist, zeigt eine Zusammenstellung der verschiedensten Untersuchungsergebnisse.

Ort und Name des Untersuchers	Meereshöhe	Ery.-Zahl pro cmm
Oslo (Laache)	0	4 970 000
Hohenhonnef (Schröder)	236	5 332 000
Zürich (Kündig)	412	5 752 000
Görbersdorf (Schröder)	561	5 800 000
Reiboldsgrün (F. Wolf)	700	5 970 000
Davos (Kündig)	1 560	6 551 000
Arosa (Egger)	1 800	7 000 000
Kordilleren (Viault)	4 392	8 000 000
Peruanische Anden (Barcroft)	4 500	über 6 000 000
Expeditionsteilnehmer		über 6 000 000
Eingeborene		über 7 000 000
Pamirplateau (Hingston)	5 500	
An Hingston		7 400 000
An 7 Höhenbewohnern		7 300 000
		bis 7 600 000
Pamirplateau (Hingston)		
An Hingston		8 320 000
An eingeb. Sarizol		7 600 000
An eingeb. Kirgisen		7 920 000

Zu dieser Tabelle bemerkt Nägeli, daß die Werte bis 1800 m zu hoch angegeben seien. Es handelt sich bei diesen Zahlenangaben auch sicher, wenn nicht um Fehler, so doch mindestens um Einzelergebnisse, die niemals einen Durchschnittswert der Ery.-Zahl in den angegebenen Höhenlagen darstellen.

Auf Grund zahlreicher Ery.-Zählungen wurden für München (500 m) ein Durchschnittswert von 4,7 Millionen Ery./cmm für Männer, von 4,4 Millionen Ery./cmm für Frauen errechnet.

Heilmeyer, Recknagel und Albus untersuchten 23 Dauerbewohner des Hotel Schneefernerhaus (2650 m) und fanden

als Mittel bei Männern 5,4 Millionen Ery./cmm, bei Frauen 4,6 Millionen Ery./cmm.

Die Werte für Zugspitzgipfel liegen um einige 100 000 höher.

Barcrofts „Die Atmungsfunktion des Blutes" ist eine Tabelle von Hingston entnommen, die die Zunahme der Ery.-Zahl bei einer Versuchsperson in der Zeit vom 10. April bis 27. Juli zeigt, während der ein Aufsteigen von einer Höhe von 200 m über dem Meere bis 5600 m erfolgte.

Datum	Höhe in 100 m	Blutkörperchen in Millionen/cmm Blut
10. 4.	2	4,5
12. 5.	13	5,2
21. 5.	24	6,0
28. 5.	31	6,6
30. 5.	37	6,8
1. 6.	38	6,8
21. 6.	41	7,5
23. 6.	48	7,8
26. 6.	52	7,6
27. 7.	56	8,3

Untersuchungen an Fliegern wurden in den Jahren 1916 und 1917 zunächst von Meyer und Seyderhelm, ein Jahr später von Kaulen durchgeführt.

Die Untersuchung von Meyer und Seyderhelm erfaßte 28 Personen, die schon längere Zeit als Flieger tätig waren und Flüge bis in Höhen von 4—5000 m durchgeführt hatten. Die meisten Ery.-Werte lagen zwischen 5 und 6 Millionen/cmm, in 4 Fällen unter 5 Millionen/cmm (bei einem Hb.-Wert von 100—120%). Der höchste festgestellte Wert war 6 880 000 (Hb. 120%). Die Blutentnahme erfolgte durchschnittlich 1—8 Tage nach dem letzten Flug, einige wenige Stunden nach dem Flug statt. „Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Grade der Vermehrung, je nachdem ob sofort nach dem Flug oder mehrere Tage oder Wochen danach untersucht wurde, besteht nicht."

Ein Jahr später veröffentlichte Kaulen das Ergebnis seiner Untersuchungen an 50 Fliegern, die die Fliegerei zwischen 2½ Monaten und 6 Jahren betrieben. Hier blieben die Ery.-Werte in 4 Fällen unter 5 Millionen/cmm, 16mal lagen sie über 6 Millionen, 4mal über 7 Millionen/cmm. Bei mehrfachen Untersuchungen derselben Flieger, einmal im Februar bei geringer Flugtätigkeit, später im Juli bei reger Flugtätigkeit, zeigte sich in einem Falle eine Zunahme von 5,3 auf 5,5 Millionen Ery./cmm, in einem anderen Falle von 5,4 auf 6,1.

Auch die Dauer des Anhaltens dieser Zellvermehrung wurde untersucht mit dem Ergebnis, daß auch nach 4—5wöchigem Aussetzen eine Verminderung noch nicht festzustellen war.

Der Zeitpunkt der Zellvermehrung war nach 2½—3 Monaten bereits eingetreten.

Bei den zu den Flügen mitgenommenen Tieren zeigten sich dieselben Veränderungen.

Kurz hingewiesen sei darauf, daß die Ergebnisse dieser Untersuchungen, besonders der in höheren Lagen angestellten, angezweifelt wurden. Zunächst war es der verhältnismäßig große Fehlerspielraum der Zeiß-Thoma'schen Zählkammer, der jedoch mit 600 000 pro cmm als reichlich angenommen werden darf, also die Ergebnisse nicht sehr beeinflußt, nachdem es sich hier um Zellvermehrungen von mehreren Millionen handelt.

Weiterhin sollte die veränderte Kapillarattraktion zwischen Blut und Kammerwänden, beziehungsweise die Aenderung der Oberflächenspannung des Bluttropfens in verdünnter Luft eine Steigerung der Zellenzahl vortäuschen. Schröder konstruierte, um diesem Fehler auszuweichen, die Schlitzkammer zur Zählung der Blutkörperchen, aber auch bei Verwendung dieser Kammer zeigte sich in Höhenlagen eine deutliche Zunahme der Ery.

Loewy schreibt in seiner „Physiologie des Höhenklimas": „Die Zunahme in der Volumeneinheit zugegeben, beweist sie natürlich nichts für eine Steigerung der Gesamt-Blutzellenzahl." Er verweist auf Autoren, die die Steigerung der Blutzellen in den Hautkapillaren einfach als eine Zellverschiebung aus anderen Kapillargebieten des Körpers bezeichnen, ausgelöst durch verschiedene, im Höhenklima besonders starke und heftige Hautreize. So kann es z. B. durch intensive Sonnenbestrahlung zu einer besonders starken Füllung der Hautkapillaren kommen, wobei das Plus von den Kapillaren der inneren Organe geliefert wird. Auf diese Weise ist die Veränderung der Ery.-Zahl in den Hautkapillaren innerhalb kürzester Zeit möglich, wie die Feststellung von Zuntz und Loewy im Monte-Rosa-Gebiet zeigt: Sie fanden bei Untersuchung ihres Ohrläppchenblutes, je nachdem ob sie im Schatten, auf dem Gletscher oder in der warmen Hütte untersuchten, Werte zwischen 3 und 7 Millionen pro cmm Blut. Diese Feststellung ist jedoch nicht in der Lage, die Tatsache der Zellvermehrung im Höhenklima zu erschüttern, da ja die Zählung in der Hütte, also unter normalen Temperaturverhältnissen genau die der Höhe von 3700 m entsprechende Zellzahl ergab.

Knoll ist über die Temperatureinwirkung auf die Hautkapillaren gegenteiliger Meinung: Er glaubt, daß die in höheren Regionen

herrschende Kälte eine Verlangsamung des Blutstromes und damit eine Zellanhäufung in den peripheren Kapillaren zur Folge hat, und dadurch eine Vermehrung der Ery.-Zahl vorgetäuscht wird. Er bezweifelt die Richtigkeit der in großen Höhen erhobenen Befunde, da bei ihnen das nach seiner Meinung notwendige Handbad von 42 Grad C zur Förderung der Zirkulation vor der Entnahme des Bluttropfens aus der Fingerbeere nicht durchgeführt worden sei. Die Untersuchungen von Zuntz und Loewy ergeben, daß es unter Wirkung von Kälte eher zu geringeren als zu höheren Werten bei der Zählung der roten Blutzellen kommt.

Schließt man aber diese unspezifischen Klimafaktoren aus, dann zeigt sich bei Untersuchungen eine gleichmäßige Füllung in allen Gefäßgebieten des Körpers im Hoch- und Tiefland. Den Beweis dafür erbrachten die Untersuchungen von Abderhalden, London, Loewy und Mitarbeiter an angiostomierten Hunden. Sie fanden beim Vergleich des Blutes der v. portae, v. hep. der Milz-, Nieren-, Ohr- und Femoralvenen übereinstimmende Werte mit dem arteriellen Blut.

Weiterhin wurde die Vermehrung der Blutzellenzahl als eine nur scheinbare erklärt, da man annahm, daß durch die Blutdrucksteigerung, die wieder als eine Folge der starken Hautmuskel- und Gefäßmuskelkontraktion bezeichnet wurde, es zu einer gesteigerten Filtration des Blutplasmas in die Lymphwege und damit zu einer Eindickung des Blutes komme, eine Ansicht die von Bunge und Abderhalden vertreten wurde. Versuche der Monte-Rosa-Expedition 1906 ergaben jedoch, daß es durchaus nicht immer unter der Wirkung des Höhenklimas zur Blutdrucksteigerung kommt, daß vielmehr Blutdrucksenkung beobachtet wurde, so daß eine Bluteindickung auf diese Art nicht stattfinden kann.

Grawitz nahm eine Eindickung des Blutes und damit eine relative Zellvermehrung als Folge einer Zunahme der Wasserverdunstung an. Diese Annahme wurde durch Tierversuche von Jaquet, Schaumann und Rosenquist widerlegt.

Untersuchungen von Zuntz und Loewy zeigten, daß die Dichte des Blutserums im Höhenklima eher vermindert als gesteigert ist und widerlegen damit ebenfalls die Eindickungstheorie.

Egger und Jaquet untersuchten den Trockenrückstand des Serums bei Aufenthalt in der Höhe und fanden ihn nicht erhöht.

Während von einigen Autoren als ein weiterer Beweis für die Zellzunahme bei Aufenthalt in der Höhe, die Abnahme der Zellen bei der Rückkehr ins Tal angesehen wird, sehen andere in einer längere Zeit anhaltenden hohen Zellzahl den Beweis für eine wahre Neubildung.

Als weiterer Beweis für die Vermehrung der Ery. wurde auch der im Höhenklima erhöht gefundene Hämoglobinwert angeführt, obwohl einige Untersucher betonen, daß ein regelmäßiges Parallelgehen in der Zunahme der Ery. und Hb. nicht besteht.

Müntz setzte im Jahre 1883 in den Pyrenäen in einer Meereshöhe von 2800 m Kaninchen aus und untersuchte nach 7 Jahren das Blut ihrer Nachkommen, wobei er den Eisengehalt erhöht fand. Dieses Ergebnis gestattet, da Eisen nur im Blutfarbstoff vorkommt, den Rückschluß auf eine Vermehrung des Hb.-Gehaltes des Blutes dieser im Höhenklima lebenden Tiere.

Später wurden für die Versuche zur vergleichenden Bestimmung der gesamten im Tierkörper vorhandenen Blutfarbstoffmengen Tiere des gleichen Wurfes verwendet, von denen ein Teil im Tiefland verblieb, die übrigen in Höhenlagen verbracht wurden.

Untersuchungen von Weiß ergaben keine Vermehrung der Gesamt-Hb.-Menge pro kg Körpergewicht, jedoch wurden die Angaben von Jaquet angezweifelt, der selbst Untersuchungen vornahm und zu dem Ergebnis kam, daß bei seinen Versuchstieren, die teils in Basel, teils in Höhen von 1500 m (Davos) lebten, die absolute Hb.-Menge pro kg Körpergewicht um etwa 20% zugenommen hatte. Versuche in Luftkammern, die eine dem Höhenklima entsprechende Luftverdünnung aufwiesen, zeigten beim Vergleich mit den Kontrolltieren eine Hb.-Zunahme von 20%.

Abderhalden spricht sich zunächst gegen eine wahre Hb.-Vermehrung aus, kommt aber auf Grund späterer Arbeiten zu einem den obenerwähnten Befunden entsprechenden Ergebnis. Eine Zusammenstellung der über die Gesamt-Hb.-Zunahme im Höhenklima an Tieren ermittelten Werte findet sich in: Höhenklima und Bergwanderungen (Zuntz, Loewy, Müller und Caspary).

Zu erwähnen sind noch die Untersuchungen von Mr. J. Richards, der auf Veranlassung von Haldane Beobachtungen über den Hb.-Gehalt seines Blutes auf einer Reise von Liverpool über Buenos Aires nach Pazna anstellte. Ausgehend von Meereshöhe erreichte er auf dieser Fahrt Höhen bis zu 4600 m und stellte bei Aufenthalt in den verschiedenen Höhen eine entsprechende Zunahme des Hb.-Gehaltes seines Blutes fest. Barcroft schreibt dazu: „Es steht außer Zweifel, daß diese Zunahme der roten Blutkörperchen und des Hb.-Gehaltes die direkte Antwort auf den Sauerstoffmangel ist.“ Der in Barcrofts: „Die Atmungsfunktion des Blutes“ veröffentlichten Tabelle ist zu entnehmen, daß der Hb.-Gehalt in Meereshöhe bei genannter Versuchsperson zwischen 95% und 104% schwankt. In einer Meereshöhe von 2270 m ist er auf 108%, in 3650 m auf 117%, gestiegen. Während des fünftägigen

Aufenthalts in dieser Höhe steigt er auf 134%. Im Laufe des fast dreimonatigen Aufenthaltes werden 146% der Norm erreicht.

Bei den schon erwähnten Fliegeruntersuchungen durch Seyderhelm, Meyer und Kaulen wurden fast ausschließlich Hb.-Werte über 100% der Norm festgestellt. In 2 von 28 Fällen blieb der Wert unter 100% (bei einem Ery.-Wert von 5,3 Millionen cmm), in allen anderen Fällen betrug er 101—135%. In den 4 Fällen, bei denen der Ery.-Wert unter 5 Millionen lag, fand sich ein Hb.-Gehalt von 100—115% d. N. 50 von Kaulen angegebene Werte schwanken zwischen 100 und 137%.

Während nach Ansicht von Heilmeyer, Recknagel und Albus keinerlei Zweifel über die Richtigkeit der Beobachtungen der Ery.- und Hb.-Zunahme besteht, ist noch der wissenschaftliche Beweis erforderlich, daß es sich um eine wahre Zunahme und nicht nur um eine vasomotorisch bedingte Verschiebung innerhalb der Gefäßbahn oder um Flüssigkeitsaustritt aus derselben handelt. Im Verlauf ihres 18tägigen Aufenthaltes auf der Zugspitze fanden genannte Untersucher in allen Fällen eine langsame aber deutliche Zunahme des Ery.- und Hb.-Gehalts in der Volumeneinheit. Außer bei den drei Hauptversuchspersonen wurden noch die Ery.- und Hb.-Werte von 23 Dauerbewohnern des Hotel Schneefernerhaus (2650 m) bestimmt, wobei sich im Vergleich mit den für Jena errechneten Durchschnittswerten eine Hb.-Vermehrung von 11,3% für Männer, von 2,8% für Frauen feststellen ließ. Auch die Ery.-Zahl fand sich, wie schon erwähnt, bei Männern um 10% vermehrt.

Um nun den Beweis zu erbringen, daß diese Ery.- und Hb.-Zunahme in der Volumeneinheit tatsächlich auf einer Vermehrung des zirkulierenden Bestandes beruht, wurden Bestimmungen der Gesamtblutmenge durchgeführt. Schon Smith, Belt, Arnold und Carrier waren zu dem Ergebnis gekommen, daß nach dreiwöchentlichem Aufenthalt im Hochgebirge bei gleichbleibender Plasmamenge die Zahl der Ery. um 19% zunahm. Diese Befunde decken sich mit denen von Douglas, Haldane, Henderson und Schneider, die ihre Untersuchungen in einer Höhe von 4300 m durchführten. Eine Steigerung von 1,8% nach 15—23tägigem Aufenthalt stellten Margaria und Sapagno fest.

Heilmeyer und Mitarbeiter fanden, daß bei Zunahme der Ery.- und Hb.-Werte es in keinem Fall zu einer Abnahme der zirkulierenden Blutmenge kam. Die Gesamtblutmenge hatte entsprechend der Zunahme der Ery. zugenommen. „Danach kann gar kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß die Ery.- und Hb.-Zunahme in der Volumeneinheit eine echte Vermehrung des gesamten zirkulierenden Ery.- und Hb.-Bestandes darstellt." Nach dem Voraus-

gegangenen muß als erwiesen betrachtet werden, daß unter der Wirkung des Höhenklimas eine Zunahme der Ery.-Zahl pro cmm Blut sowie der Hb.-Menge stattfindet. Diese Zunahme setzt zunächst ziemlich rasch ein, erreicht in einer Meereshöhe von etwa 1800 m nach etwa zwei Wochen, in einer von 4000 m in etwa drei Wochen ihren Höhepunkt (Loewy). Der Umfang der nach einiger Zeit erreichten Zunahme schwankt bei den einzelnen Personen zwischen 6% und 50%.

Da bei erheblicher Blutneubildung mitunter kernhaltige Ery. im Blut auftreten, suchte man als Folge vermehrter Bildung bzw. Ausschwemmung von Blutzellen unter der Wirkung des Höhenklimas auch hier nach kernhaltigen roten Blutzellen. Loewy, Zuntz, Abderhalden, Foa, Schröder, Hartmann u. a. kamen zu negativen Ergebnissen. Schaumann und Rosenquist fanden ebenso wie Meyer und Seyderhelm derartige Zellen. Letztgenannte Untersucher sprechen im Anschluß an ihre Fliegeruntersuchungen von „zwar sehr seltenen, aber doch mit Sicherheit festgestellten kernhaltigen Formen".

Als weitere Reaktion auf den Sauerstoffmangel erwähnt Knoll das Auftreten von Mikrozyten (bis 20%) zum Zweck der Oberflächenvergrößerung und damit gesteigerter Möglichkeit Sauerstoff in den Lungen an das Hb. der Ery. zu binden.

Hartmann faßt seinen Bericht über die Ergebnisse bei der Himalaja-Expedition zusammen: Das rote Blutbild trägt die Kennzeichen starker Regeneration, die in großen Höhen immer deutlicher werden (Makrozytose, Anisozytose, Polychromasie). Normoblasten wurden nie beobachtet.

Steht nun die Tatsache der echten Zellvermehrung der Farbstoffträger und die Zunahme des Hämoglobins fest, so muß noch die Frage geklärt werden, auf welche Weise diese Bestandszunahme erfolgt. Schon 1895 machte Fick darauf aufmerksam (ohne mangels Gelegenheit auch Versuche darüber anzustellen), daß die Bergpolyzytämie dadurch entstehen könnte, daß die roten Blutkörperchen langlebiger würden.

40 Jahre später befaßten sich fast zu gleicher Zeit zwei Forscher mit dem Wesen dieser Zellzunahme, beschritten dabei aber verschiedene Wege.

Es gibt zwei Möglichkeiten für den Körper, eine Zellzunahme im Blut zu erreichen:

1. durch vermehrte Neubildung,
2. durch Hemmung der physiologischen Zerstörung.

Da aber anderseits bei gesteigerter Funktion der blutbildenden Organe eine Vermehrung der Ery. ausbleibt, wenn auch die Hämo-

lyse zunimmt, stehen Heilmeyer und Mitarbeiter auf dem Standpunkt, daß bei Betrachtung der Knochenmarksfunktion auch die hämolytischen Vorgänge mituntersucht werden müßten, um zu exakten Resultaten zu gelangen. Auf Grund ihrer Arbeiten im Schneefernerhaus auf der Zugspitze kommen sie zu dem Schluß, daß die Bestandszunahme sowohl durch Hemmung der Zerstörung wie durch Steigerung der Neubildung stattfindet, daß also zwei Vorgänge an der Zellvermehrung beteiligt sind.

Kaulbersz beschritt einen anderen Weg zur Klärung dieser Frage. Ausgehend von der Tatsache, daß jüngere Blutkörperchen eine größere osmotische Resistenz besitzen als ältere, daß ferner die Resistenz der gesamten Ery. beim Uebergang ins Höhenklima zunimmt, stellte nun Kaulbersz Untersuchungen an, ob zwischen den Veränderungen der Resistenz und dem Auftreten junger roter Blutkörperchen ein genauer Zusammenhang besteht. Das Nichteintreten dieses Parallelismus wurde als Beweis für die größere Ausdauer der älteren Blutkörperchen, die sich schon im Blutkreislauf befinden, und für die Möglichkeit ihrer längeren Lebensdauer angesehen.

Als Ursache für die erwähnte Neubildung von Blutzellen nahm Miescher eine Sauerstoffarmut der blutbildenden Organe an, die zu einer regen Neubildung führen sollte. Diese Sauerstoffarmut der blutbildenden Organe ist durch den in größeren Höhen herrschenden Sauerstoffmangel der Luft bedingt. Nun ist aber eine Erhöhung der Blutzellenzahl schon in geringen Höhen, in 500 bis 600 m festzustellen, in denen von Sauerstoffmangel noch nicht die Rede sein kann.

Schaumann und Rosenquist haben daher die Ansicht vertreten, daß die blutbildenden Organe gegen Luftverdünnung enorm empfindlich seien und ihre blutbildende Tätigkeit vom Barometerdruck weitgehend abhängig sei.

Barcroft meint, daß die Zunahme nicht auf einem einzigen Mechanismus beruht. Er unterscheidet bei den Regulationsvorgängen zwischen Notmaßnahmen und endgültigen Maßnahmen.

Möglichkeiten zur Vermehrung der Blutkörperchenzahl.

Notmaßnahmen:	Endgültige Maßnahmen:
1. Wasserentziehung,	Tätigkeit des
2. Neuöffnen kapillärer Bezirke,	Knochenmarks.
3. Milzkontraktion,	
4. Unerkannte Maßnahmen.	

Ueber Notmaßnahmen wird bei Besprechung der Befunde bei kurzem Aufenthalt in großen Höhen Genaueres berichtet werden.

Die Tätigkeit des Knochenmarks wurde von Zuntz an histologischen Schnitten des Knochenmarks von Tieren nachgewiesen.

Während bisher die Ausführungen lediglich die Zahl der Ery. berücksichtigten, soll im folgenden einer speziellen Form der roten Blutzellen den Retikulozyten besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Diese besondere Form der Ery. unterscheidet sich sowohl funktionell als auch morphologisch von den normalen Ery. Die Retikulozyten werden mit Hilfe der sogenannten Vitalfärbungen dargestellt. Bei Anwendung dieser Färbungen zeigt ein gewisser Prozentsatz der Ery. eine netz-, knäuel- oder punktförmige Struktur. Im normalen Blut finden sich diese Retikulozyten oder vitalgranulierten Ery. nur vereinzelt, steigen aber unter bestimmten Verhältnissen bis zu 25‰ an. (Bei den Ausdrücken: „Vitalgranulation, supravitalfärbbare Substanzen, Granulofilozyten, subst. retikulosa, Retikulozyten", handelt es sich nur um die Bezeichnung der Struktur, die mit bestimmten Färbemethoden gewonnen wird.)

Nach Ansicht aller Autoren, die sich mit dem Studium dieser Zellen näher befaßten, stellen sie ein Zeichen gesteigerter Reaktion des blutbildenden Apparates dar.

Carly Seyfarth schrieb 1927 über die Blutveränderungen unter Einwirkung verdünnter Luft: „Auf das Verhalten der vitalgranulierten Ery. ist bisher von keinem der sehr zahlreichen Forscher, die sich mit den Fragen der Vermehrung der Ery. und des Hb. bzw. dem Auftreten von jugendlichen Formen beschäftigt haben, geachtet worden." Verfasser bezeichnet sie als jugendliche Blutzellen, die unter normalen Verhältnissen bis zur völligen Ausreifung im Knochenmark zurückgehalten werden. Nur spärlich werden fortdauernd die ausgereiften Formen ins kreisende Blut entsandt. Bei dem geringsten Reiz jedoch findet ein vermehrter Uebertritt dieser vitalfärbbaren jugendlichen Blutzellen ins periphere Blut statt, so daß diese Vitalgranulation das früheste und feinste Anzeichen für irgendeinen physiologischen oder pathologischen Reiz darstellt, der das kreisende Blut, das Knochenmark, oder überhaupt die blutbildenden Organe trifft.

Seyfarth führte seine Tierversuche in einer Kammer durch, in der Luftdruckverhältnisse sowie Luftverdünnung entsprechend einer Meereshöhe von 4000—5000 m herrschten. Als Versuchstiere dienten Kaninchen, Ratten und Mäuse, bei denen vor den Versuchen die Zahl der vitalgranulierten Zellen bestimmt wurde. Es zeigten sich schon nach wenigen Stunden, besonders deutlich jedoch nach

24—48 Stunden, noch bevor eine Steigerung der Gesamt-Ery.-Zahl festzustellen war, eine deutliche Steigerung der Granulozyten. Bei den Kaninchen betrug diese Steigerung von 3—8 auf 13—35 Zellen pro Tausend, bei den Ratten von 3 auf 10 pro Tausend, bei den Mäusen von 5 auf 15 pro Tausend. Weiterhin zeigte sich, daß jüngere Tiere schneller und stärker reagierten als alte. Dazu bemerkt Seyfarth, daß nach seinen Untersuchungen die substantia granulo-filamentosa einen konstanten Durchgangszustand, eine morphologische Entwicklungsform im normalen Reifungsvorgang aller Hb.-haltigen Blutzellen bei Mensch und Tier vorstellt.

„Bei Embryonen nimmt die Zahl der vitalgranulierten Ery. — nach dem zu einem gewissen Zeitpunkt alle Zellen des gesamten erythoblastischen Apparates Vitalgranulation gezeigt haben — progressiv bis zur Geburt ab." Bei vielfachen übereinstimmenden Zählungen ergibt sich, daß sich später die Zahlen der Granulozyten auf 1—2 pro Tausend einstellten.

Diese Angabe von 1—2‰ als Normalzahl der Retikulozyten dürfte nach dem heutigen Stand der Färbetechnik als zu niedrig zu betrachten sein. Die Färbetechnik hat inzwischen solche Fortschritte gemacht, daß man die 3—4fachen Werte noch als normal ansehen darf.

Es soll daher im folgenden auf die zahlreichen und verschiedenen Werte ergebenden Färbemethoden eingegangen werden und ihre Brauchbarkeit für klinische und wissenschaftliche Zwecke geprüft werden.

Die vitalgranulierten Ery., heute meist Retikulozyten genannt, werden mittels der sogenannten Vitalfärbungen dargestellt. Als Färbungsflüssigkeiten dienen basische Farbstoffe wie Methylenblau, Brillantkresylblau, Nilblausulfat, Azur II u. a.

Der Ausdruck „Vitalfärbung" ist insofern nicht ganz exakt, als es sich bei den gefärbten Bestandteilen zum größten Teil um sterbende oder tote Substanz handelt. Da die Färbung einige Zeit in Anspruch nimmt, die Blutzellen sich während dieser Zeit verändern, zum Teil sogar absterben, werden also nicht nur lebende Zellen gefärbt. Es wäre daher besser, von einer Supravital- oder Postvitalfärbung zu reden.

Bei den verschiedenen Darstellungsmethoden sind mehrere Gruppen zu unterscheiden:

1. Ausstrichfärbungen auf den mit der Farblösung vorbehandelten Objektträgern in der feuchten Kammer (Seyfarth).

2. Methoden, bei denen, wie bei 1., die Objektträger vorbehandelt sind, die Verteilung des Bluttropfens jedoch durch ein aufgedrücktes Deckglas erreicht wird (Wolfer, Nägeli).

3. Die Mischung von Blut und Farbstoff geschieht in Pipetten (Kämmerer, Ederle) oder in Paraffinnäpfchen (Heilmeyer).

4. Methoden, die Gerinnung hemmende Zusätze vorsehen. Sie sind deshalb in einer eigenen Gruppe zusammengefaßt, da sie, wie noch besprochen wird, wegen der Gefahr der Bildung von Kunstprodukten für exakte Zählungen ausscheiden müssen.

5. Mit hypotonischen Lösungen arbeitende Methoden (Schilling und Fischer).

6. Zentrifugiermethoden (Schleicher, Widal, Komiya).

Von den erwähnten Darstellungsarten eignen sich nur diejenigen für eine exakte Auswertung, die die Möglichkeit des Auszählens bieten, Kunstprodukte vermeiden und (wenigstens für die Verwendung am Krankenbett und die in dieser Arbeit besonders berücksichtigten höhenklimatologischen Untersuchungen) einigermaßen einfach ausführbar sind.

Es scheiden demnach

a) die unter 4. erwähnten Methoden aus, die von folgenden Autoren angegeben werden: Cook, Meyer, Tureen, Osgod, Widal (siehe auch unter 6). Hier wird Kaliumoxalat zur Verhinderung der Gerinnung zugesetzt. Damaschek verwendet Na-Zitrat als gerinnungshemmenden Zusatz.

b) Die mit hypotonischen Lösungen arbeitenden Methoden, wie sie von Schilling, allerdings nur zur Herausarbeitung einzelner Strukturen in den Ery. angegeben wird, und die Quellmethode nach Fischer, bei der die Ery. aufgelöst werden.

c) Die Zentrifugiermethoden. Interessehalber seien einige von ihnen näher beschrieben, die sich völlig widersprechen, woraus schon ihre Unzuverlässigkeit hervorgeht. Methode nach Widal, Abrami, Brulé: In einem Zentrifugengläschen werden 2 ccm einer Ka-Oxalat-Na-Cl-Lösung mit 20 Tropfen Unnascher Methylenblaulösung gemischt, 2—3 Tropfen Blut hineingegeben. Diese Mischung bleibt 10 Minuten stehen und wird dann kurz zentrifugiert. Das aus vitalgefärbten Zellen bestehende Sediment wird auf Objektträgern ausgestrichen und nach Lufttrocknung untersucht.

Seyfarth und Wolfer sind der Ansicht, daß sich beim Zentrifugieren von Blut die vitalgranulierten Ery. in der obersten Schicht des Zentrifugates ansammeln.

Komiya zentrifugiert nach Zusatz von Na-Zitrat-Lösung und entnimmt mittels Glaskapillaren aus der oberen, mittleren und unteren Schicht Blutkörperchenbrei. Seine Ergebnisse gehen dahin, daß sich in der obersten Schicht etwa 1,5—2mal so viele Retikulozyten finden als im normalen Blut. Mit diesem Blutkörperchenbrei werden nun Ausstriche angefertigt, die, da sie reich an Retikulozyten sind, leichter auszuzählen sind, die Ergebnisse werden dann durch 2 dividiert. Diese Methode ist natürlich zu ungenau und umständlich, um in der Klinik Verwendung zu finden.

Es bleiben demnach noch die unter 1., 2. und 3. genannten Methoden, die im folgenden kurz beschrieben und auf ihre Brauchbarkeit geprüft werden sollen.

ad 1. Seyfarth verwendet als Färbeflüssigkeit eine ½—1%ige Brillantkresylblaulösung in Alk. abs. Auf die sorgfältig gereinigten und entfetteten Objektträger wird in gleichmäßiger dünner Schicht die Farbe ausgebreitet, die rasch trocknet. Die gefärbte Seite wird, um später nicht die falsche Seite mit Blut zu beschicken, mit einem Fettstiftzeichen versehen. Diese so vorbereiteten Präparate lassen sich längere Zeit aufbewahren, ohne daß die Farbschicht Veränderung erfährt, so daß man sich einen großen Vorrat bereithalten kann. Nachdem in üblicher Weise ein Blutausstrich auf dem so vorbereiteten Objektträger angefertigt ist, wird er sofort in eine feuchte Kammer (mit angefeuchtetem Filtrierpapier ausgeschlagene Petri-Schale) verbracht, in der er nach Seyfarth 5 Minuten bleibt. Nach dieser Zeit erfolgt Lufttrocknung.

Ergebnis: 1—3‰ Retikulozyten.

Anstatt Kresylblau kann (nach Schilling) auch Nilblausulfat (0,5%ige Lösung) verwendet werden.

Ergebnis: Vom Autor nicht angegeben.

Nägeli gibt Methylenblaulösung 1 : 500 auf einen Objektträger; nach Eintrocknen wird ein Deckglas mit Bluttropfen darübergegeben.

Ergebnis: Nicht angegeben.

Pappenheim empfiehlt außer Brillantkresylblau noch Azur II, läßt die Farbe nach Anfertigung eines dünnen Ausstriches eintrocknen und gibt einen Blutstropfen mit Deckglas darüber. Das Blut soll nicht den Rand unter dem Deckglas ausfüllen. Es breitet sich, wenn die Gläser staubfrei sind, spontan tadellos aus. Färbung tritt besonders in den intermediären Zonen schön ein.

Ergebnis: Nicht angegeben.

Wolfer beschreibt eine etwas umständliche und für die Ery. nicht besonders schonende Methode: Es wird eine 5%ige alkoholi-

sche Lösung von Brillantkresylblau verwendet, die mittels Glasstabes auf Objektträger gebracht wird, die etwa 1 cm vom Rande entfernt mit einer Querrille versehen sind. Die Enden dieser Objektträger werden kräftig mit Farbstofflösung beschickt, nach deren Eintrocknen wird die Farbstoffläche angehaucht und mit einem Seidenläppchen etwas verrieben. Nun wird ein zweiter Objektträger in zwei Teile zerschnitten und seine Enden ebenfalls wie oben mit Farbstofflösung beschickt. Dann kommt in die Rille des Objektträgers I ein Tropfen Blut, der mit dem halbierten Objektträger zugedeckt wird. Durch 1—2maliges Abheben und wieder Zudecken wird Blut und Farbe gemischt. Von dieser Mischung werden dann auf neue Objektträger Ausstriche gemacht, die nicht mehr in die feuchte Kammer verbracht werden müssen, sondern nach Lufttrocknen sofort untersucht werden können.

Ergebnis: Vom Autor nicht angegeben.

ad 3. K ä m m e r e r macht folgenden Vorschlag zur Darstellung und Untersuchung der Retikulozyten: Man zieht in der Leukozytenpipette bis zur halben Pipettenlänge Blut auf und füllt wie gewöhnlich die Ampulle bis zur Marke mit 0,05—0,15%iger Brillantkresylblau-Na-Cl-Lösung auf. Nach sofortigem kräftigen Umschütteln wird die Pipette eine halbe Stunde lang liegengelassen. Mittlerweile wird auf einem gewöhnlichen Objektträger mit Vaseline ein quadratförmiger Rahmen aufgepinselt, dessen fettfreier Innenraum etwa kleiner als ein Deckglas sein soll. Hier hinein wird nach Verstreichen der halben Stunde und nochmaligem Durchschütteln ein Tropfen der Mischung gebracht und mit einem Deckglas festgedrückt und verteilt. Daraufhin wird mit Oelimmersion untersucht. Innerhalb von zwei Stunden finden nach K ä m m e r e r wesentliche Veränderungen nicht statt. Die Zählung soll aber möglichst innerhalb der ersten halben Stunde stattfinden.

F r i e d l ä n d e r und W i e d e m e r verwenden ebenfalls eine Brillantkresylblau-Na-Cl-Lösung, mischen in einer Erythrozytenpipette, um nach einer halben Stunde in der Zählkammer zu untersuchen.

E d e r l e verwendet als Färbeflüssigkeit 0,5%ige Brillantkresylblau-Na-Cl-Lösung und geht folgendermaßen vor: In einer Pipette zur Hb.-Bestimmung nach S a h l i wird bis zu einem Drittel Blut und bis zur Marke Färbeflüssigkeit aufgezogen. Der Inhalt der Pipette wird in ein Uhrgläschen ausgeblasen und wieder aufgezogen, bis eine gute Durchmischung eingetreten ist. Dann wird ein Tropfen der Mischung auf einen fettfreien Objektträger übertragen und in üblicher Weise ein randfreier Objektträgerausstrich angefertigt, der in der feuchten Kammer 10 Minuten lang gefärbt wird. Nach der

sehr rasch eintretenden Trocknung kann der Strich sofort ausgezählt werden. Es besteht die Möglichkeit, durch Nachfärben mit Giemsalösung ein Dauerpräparat herzustellen.

Heilmeyer modifizierte die Methode nach Goroll in folgender Weise: 0,1 ccm Blut, das mit einer kleinen Pipette direkt dem Ohrläppchen entnommen wird, wird mit 0,25 Brillantkresylblaulösung (1,0 Brillantkresylblau, Sol.Natr.chlorat.phys ad 100,0) in einem Paraffinnäpfchen unter Umrühren mit einem paraffinierten Glasstäbchen gemischt und 40 Minuten in einer feuchten Kammer stehengelassen. Nach dieser Zeit wird nach nochmaligem Umrühren ein Tropfen der Mischung entnommen und ein Ausstrichpräparat angefertigt, das an der Luft rasch trocknet.

Von den genannten Retikulozyten-Zählmethoden sind wegen der Gleichmäßigkeit der Ergebnisse, der verhältnismäßig leichten Ausführbarkeit und der Möglichkeit, Präparate anzufertigen, die nicht bald nach der Blutentnahme ausgezählt werden müssen, die Methoden nach Seyfarth, Ederle und Heilmeyer den anderen Verfahren vorzuziehen.

Für die von mir auf Bergtouren und Bergbahnfahrten durchgeführten Untersuchungen kamen von den letztgenannten Verfahren nur die in Frage, die eventuell auch unter ungünstigen Temperaturverhältnissen brauchbare Resultate lieferten, schnell auszuführen waren und wenige bzw. leicht transportable Hilfsmittel erforderten. Es verblieben demnach die Methoden nach Seyfarth und Ederle. Die Heilmeyer'sche Methode schied wegen der langen Färbezeit in der feuchten Kammer aus.

Mit den nach Seyfarth vorbehandelten Objektträgern waren anfangs bei Färbungen in großen Höhen (Jungfraujoch 3500 m) Mißerfolge zu verzeichnen. Bei der vom Autor angegebenen Färbezeit von 5 Minuten in der feuchten Kammer blieben die Ery. und die subst. granulo-filamentosa ungefärbt. Der Grund ist, wie auch Wolfer vermutet, in der erhöhten Resistenz der Ery. unter der Wirkung des Höhenklimas zu suchen. Es wurden daher zunächst Versuche zur Ermittlung der günstigsten Färbezeit angestellt, bei denen 12—15 Minuten Verweildauer in der feuchten Kammer die besten Resultate ergab; ein längeres Verweilen in der Kammer erzielte keine besseren Resultate. Dieselbe Färbezeit wurde auch bei den Untersuchungen im Tal angewandt und damit wesentlich höhere Werte als die von Seyfarth als normal angegebenen erzielt, ohne daß diese Steigerung durch Kunstprodukte vorgetäuscht wurde. Man darf auf Grund eingehender Untersuchungen in einer Meereshöhe von etwa 500 m (München) Werte von 8—11‰ als noch normal ansehen.

Die Ederle'sche Färbung ergibt noch höhere Werte als die nach Seyfarth, eine Tatsache, die wohl darauf zurückzuführen ist, daß die Ery. allseitig von Farbstofflösung umspült werden, während bei der Seyfarth'schen Färbung das auf dem Objektträger befindliche Brillantkresylblau nur von einer Seite auf die Ery. einwirkt. So wird vielleicht manchmal ein Restnetz der subst. granulo-filamentosa, das auf der der Farbstoffschicht abgekehrten Seite der Ery. liegt, von der Farbe nicht oder ungenügend erreicht. Die Ederle'sche Methode hat jedoch den Nachteil, daß es besonders in großen Höhen und der damit verbundenen Resistenz gegen NaCl-Lösungen nicht zum Eindringen der mit NaCl-Lösung verdünnten Farbe in die Ery. kommt und somit die Färbung ausbleibt. Auch durch längeren Aufenthalt in der feuchten Kammer kann eine Färbung nicht erreicht werden.

Es wurde daher bei allen von mir durchgeführten Untersuchungen nach beiden Methoden gefärbt, um bei Versagen einer Färbetechnik die andere als Ersatz zu haben. Es wurde dann bei allen Ergebnissen hinter der Zahl, die die Retikulozyten pro 1000 Ery. nennt, ein E (= Färbung nach Ederle) bzw. S (= Färbung nach Seyfarth) gesetzt.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß es bei den zur Zeit so zahlreichen gebräuchlichen Darstellungsmethoden unbedingt erforderlich ist, bei Angaben über Retikulozytenzahlen die Färbemethode und die dabei errechnete Normalzahl anzugeben.

Wie verschiedene Angaben über die Normalzahl der Retikulozyten in der Literatur zu finden sind, soll folgende Zusammenstellung zeigen:

Cohn	4‰
Roessingh	10—18‰
Seyfarth	1—2‰
Schilling	1—5‰
Rosin	5—20‰
Bibergeil	5—20‰
Kaulbersz	3—5‰
Ederle	16‰

Die von Schaumann und Rosenquist festgestellte Vergrößerung des Durchmessers der Ery. unter Wirkung verdünnter Luft bestätigt Seyfarth und fügt hinzu, daß es sich bei diesen vergrößerten Zellen eben um vitalgranulierte Ery. handelt, und daß diese je jünger desto größer sind.

Seyfarth unterscheidet je nach der morphologischen Gestalt der substantia granulo-filamentosa einerseits jüngere vitalgra-

nulierte Ery. mit 1. knäuelförmiger und 2. kranzförmiger substantia granulo-filamentosa und anderseits alte vitalgranulierte Zellen mit 3. netzförmigen und 4. punkt- und fadenförmigen Gebilden. Beim gesunden erwachsenen Menschen kreisen ausschließlich ältere Granulozyten im peripheren Blut.

Bei Untersuchungen über die Verteilung genannter Zellen im kreisenden Blut fand Seyfarth, daß die Vermehrung dieser jugendlichen Zellen nicht nur die peripheren Gefäße betrifft. Er fand bei vergleichenden Untersuchungen von Ohrvenenblut, Herzpunktionsblut und Karotisblut übereinstimmende Zahlen. Genannter Untersucher schreibt ferner: In der ersten Zeit des Aufenthaltes im luftverdünnten Raum handelt es sich wohl sicher um eine Ausschwemmung dieser jugendlichen Zellen aus Milz und Knochenmark. Die Blutspeicher im Innern des Körpers werfen ihre vorrätigen, noch nicht völlig ausgereiften Reserven ins kreisende Blut. Die anhaltende starke Vermehrung in der Folge beweist aber eine vermehrte Neubildung. Wahrscheinlich hat die Milz die Funktion im Bedarfsfall zu allererst Reserven ins Blut zu werfen. Als Ursache für die plötzliche starke Ausschwemmung bzw. Neubildung wird Sauerstoffmangel angegeben. Bei Anstellung der Versuche im Licht oder in der Dunkelheit, ferner bei Verwendung von Grün- oder trockenem Futter sowie nach Wasserdampfsättigung zeigten sich keinerlei Differenzen bei den Ergebnissen.

Heilmeyer weist ebenso wie Seyfarth auf die verschiedene Zeichnung der substantia granulo-filamentosa hin, aus deren Form man auf den Reifegrad der Zellen schließen könne. Er berichtet, daß durch Bebrütungsversuche überlebender Retikulozyten gezeigt werden konnte, daß die Knäuelform allmählich in Netzchenform und unter Auflösung des Netzes in Tüpfelform und schließlich unter Verlust jeder basophilen Zeichnung in völlig normale Ery. übergehen. Dieser Reifungsvorgang dauert 1—3 Tage.

Bei seiner Expedition in Peru, die in Meereshöhe ihren Ausgangspunkt nahm und allmählich bis in eine Höhe von 4300 m führte, konnte Barcroft 1922 ebenfalls ein deutliches Ansteigen der retikulierten Zellen feststellen. Bei Rückkehr in Meereshöhe zeigte sich ein Sinken der Zahl der retikulierten Zellen auf die Ausgangswerte.

In Barcroft's „Die Atmungsfunktion des Blutes" findet sich eine Zeichnung, die deutlich das Parallelgehen der Zahl der Retikulozyten mit der Höhe des Untersuchungsortes über dem Meeresspiegel zeigt.

Nun macht aber Barcroft noch folgende Feststellung: Nicht nur das Blut der Expeditionsmitglieder wies in großen Höhen die schon erwähnte Vermehrung der jugendlichen Blutzellen auf, son-

dern auch das Blut der oben lebenden Ingenieure, ja selbst das der Eingeborenen zeigte diese auffallende Vermehrung dieser Zellen. Barcroft stellt nun die Frage, ob man berechtigt sei daraus zu schließen, daß bei Menschen, deren Eltern und Großeltern in den Bergen gelebt haben, noch immer Blutkörperchen in einem Ausmaße gebildet und vernichtet werden, wie ein gleiches in Meereshöhe nur bei der Biermer'schen Anämie stattfindet. Er erwähnt die Möglichkeit, daß die gewaltige Neubildung und Vernichtung der Ery. ein Mittel sein könnte, die Zahl der Ery. auf 7—8 Millionen pro cmm Blut zu halten.

Eine andere Auslegung dieser Befunde, die auch Barcroft teilt, hat C. Dinker dafür angegeben, daß auch bei den Eingeborenen die Zahl der retikulierten Zellen die genannte Höhe zeigt. Steigt die Zahl der Blutkörperchen von 5 auf 7,5 Millionen pro cmm Blut (das ist eine Zunahme von 50%), so muß natürlich das Mark in demselben Maße zunehmen. Der Höhleninhalt der Knochen jedoch, der das Mark enthält, bleibt gleich groß. Diese Höhle ist nun ein gut Teil größer als der Raum, den das Mark unter normalen Bedingungen einnimmt. Der Rest der Höhle ist hauptsächlich durch Fett ausgefüllt, bis zu einem gewissen Grad aber auch durch den Vorrat reifender retikulierter Zellen, die, wenn sie älter werden, allmählich weniger retikuliert werden, bis sie als fertige Zellen in die allgemeine Zirkulation gelangen. Um Platz für das sich nun bildende Mark zu liefern, müßten diese Vorratsplätze geräumt und die retikulierten Zellen früher aus ihrem knöchernen Versteck in die peripheren Gefäße ausgeworfen werden. Die Zeit hat die Höhlen dieser „Cholos"*)-Knochen nicht vergrößert, noch hat sie die zur Herstellung einer gegebenen Anzahl Blutkörperchen notwendige Menge an Mark vermindert. Deshalb werden die retikulierten Zellen noch immer in einem früheren Stadium ausgeworfen, wahrscheinlich aber nicht in größerer Zahl als der Zunahme der roten Blutkörperchen entspricht.

Retikulozytenzählungen mit Differenzierung dieser Zellen in 4 Gruppen, die verschiedenen Reifegraden entsprechen, wurden von Heilmeyer in einer Höhe von 2650 m angestellt. Es wurden die Retikulozytenwerte von 3 Personen untersucht, die 16 Tage in dieser Höhe blieben. Es zeigte sich in den ersten 14 Tagen eine beträchtliche relative und absolute Zunahme, wobei diese Vermehrung fast ausschließlich durch ausgereifte, auch im normalen Blut zu findende Formen hervorgerufen war. Bei den Hoteldauerbewohnern fanden sich normale Zahlen.

*) Cholos = Bezeichnung für bestimmte Bewohner der peruanischen Anden.

Heilmeyer macht besonders auf einen Retikulozytensturz aufmerksam, der am Tage nach der Auffahrt festzustellen war. Bei einer ganzen Reihe von Personen war am ersten Tage nach der Auffahrt eine Abnahme der Retikulozyten zu beobachten. Bei Personen, die öfters die Zugspitzfahrt machten, konnte eine derartige Erscheinung nicht festgestellt werden. Heilmeyer vermutet bei diesem Retikulozytensturz „eine nervöse Hemmungsreaktion auf die plötzliche Verminderung des Sauerstoffdruckes".

Eigene Untersuchungen an Dauerbewohnern dieser Höhen bestätigen die erwähnten Befunde. Ueber Retikulozytenzählungen bei kurzem Aufenthalt in diesen Höhen wird später berichtet werden.

Zusammenfassung: Unter der Wirkung des Höhenklimas nimmt die Zahl der Erythrozyten sowie die Hb.-Menge zu, auch ist die Aufnahmefähigkeit des Hb. für O_2 gesteigert. Ferner kommt es zum Auftreten von jugendlichen roten Blutzellen, den vitalgranulierten Erythrozyten im peripheren Blut. Der Anteil der Retikulozyten, der normalerweise etwa 2—10‰ beträgt, steigt unter der Wirkung des Höhenklimas bis zu 25‰ an. Das Auftreten dieser Zellen ist die erste Reaktion der blutspeichernden bzw. bildenden Organe auf den Sauerstoffmangel und tritt noch vor einer zählbaren Vermehrung der Erythrozytenzahl ein.

Auf Grund der Feststellung, daß es sich bei der Ursache der Bergkrankheit hauptsächlich um einen Sauerstoffmangel handelt, versuchte man, die bei den Anämien so erfolgreich angewandte Lebertherapie auch hier auszunützen. Durch Verlust bzw. allzu schnellen Abbau der Sauerstoffträger kommt es bei Blutungs- bzw. der Biermer'schen Anämie zu einer mangelhaften Sauerstoffaufnahme durch das Blut in den Lungen und einer schlechten Sauerstoffversorgung der Gewebe. Durch mangelhaftes Sauerstoffangebot aus der Luft kommt es bei der Bergkrankheit zu derselben ungenügenden Ernährung der Gewebe. Konnte man bei den genannten Anämien durch Lebertherapie die Blutbildungsstätten zu erhöhter Produktion anregen, so lag die Vermutung nahe, durch eine gleiche „Behandlung" auch die Bergkrankheit heilen bzw. verhindern zu können. Die Versuche mußten zunächst ergeben, ob diese Lebergaben nur bei Anämien, also krankhaften Zuständen, von Erfolg wären oder auch schon beim normalen Menschen zu einer Steigerung der Erythrozytenzahl und Vermehrung des Hb. führen könnten und somit brauchbar als Vorbeugungsmittel für die Bergkrankheit wären.

Da die erste Reaktion des blutbildenden Apparates die Ausschwemmung von Retikulozyten ist, suchte man also nach den Lebergaben bei Gesunden zunächst nach diesen Zellen, um die Wirkung zu kontrollieren.

Zunächst stehen sich hier zwei Meinungen gegenüber: Von einigen Untersuchern wird die Wirkung von Lebergaben auf den blutbildenden Apparat Gesunder bejaht, von anderen abgelehnt. Im Lehrbuch der Hämatologie von Hirschfeld und Hittmair wird letztere Ansicht vertreten: „Leberdiät verursacht bei Normalen keine Zunahme der Retikulozyten, bei sekundärer Anämie eine mäßige, bei Perniziosa eine deutliche Zunahme. Diese fast gesetzmäßige erhebliche Zunahme bedeutet nicht nur die Regeneration jugendlicher Zellen überhaupt, sondern auch die Bildung normalgeformter Zellen.“ Vertreter der gegenteiligen Ansicht in bezug auf die Wirkung am Normalen sind Adler und Schiff: Beide Untersucher bestätigen zunächst den ausgezeichneten Erfolg der Leberdiät bei Perniziosa und die Tatsache, daß es unter Wirkung dieser Diät zur Steigerung der Zahl der vitalgranulierten Erythrozyten kommt. „Diese Tatsache legt es nahe, daß die Leberpräparate anreizend auf die Blutbildung wirken und die ohnehin bei Perniziosa schon gesteigerte Blutneubildung noch erhöhen.“ In der Zusammenfassung der im Deutschen Archiv für klinische Medizin veröffentlichten Arbeit heißt es: „Beim normalen Menschen zeigte sich in unseren Fällen nach Hepatrat-Zufuhr ähnlich wie bei der Perniziosa Anstieg des Hb., der Erythrozyten, der Retikulozyten und der Eosinophilen.“

Interessant, wenn auch nicht genügend exakt kontrolliert, um als unwiderlegbarer Beweis für die Wirkung der Lebergaben auf die Erythrozytenzahl zu gelten, sind die Versuche von Dr. Richter, dem Arzt der Himalaja-Expedition, Professor Dyrenfurth, 1930. Dr. Richter machte zwei Versuche, die Zunahme von Hb. und roten Blutzellen zu beschleunigen und so eine möglichst kurze Anpassungszeit an die Höhenlagen zu erreichen. Der erste Versuch bestand in einem Aderlaß, dem sich zwei Expeditionsteilnehmer unterzogen. Er hatte zunächst keine unangenehmen Folgen. „Später zeigten sich jedoch die beiden gegenüber den anderen Teilnehmern in ihrer Leistungsfähigkeit eher herabgesetzt und erkrankten an einem hartnäckigen und quälenden Höhenhusten, was auf eine mittelbare Einwirkung des Aderlasses durch Schwächung des Körpers zurückgeführt wird.“

Diese negative Wirkung des Aderlasses ist wohl so zu erklären, daß die Blutspeicher bzw. die blutbildenden Organe sich schon im Stadium stärkster Produktion befinden und durch die Ent-

nahme von Blut auch Baustoffe für den Aufbau neuer junger Erythrozyten dem Körper entzogen werden. Das Endergebnis dieses Versuches war, daß der mögliche Vorteil einer Blutneubildung durch den Aderlaß nicht den Nachteil der Herabsetzung der körperlichen Widerstandskraft aufwiegt.

Der zweite, aus technischen Gründen leider nicht exakt kontrollierte Versuch zeigte keinerlei Schädigungen, war vielmehr nach dem Bericht von Dr. Richter von gutem Erfolg. Es handelt sich um die Darreichung von Leberpräparaten (Hepatratbohnen der Nordmark-Werke-Hamburg).

Sämtliche europäischen Teilnehmer, mit Ausnahme von Frau H. Dyrenfurth, nahmen täglich 3mal 3 Hepatratbohnen ein, eine Gabe, die der Menge von 180 g Frischleber entspricht. Die Präparate wurden von Anfang Mai, nach Erreichung des Standlagers (4500 m), bis Anfang Juni zur Ersteigung des Jonsong-Peak genommen. Die meisten Expeditionsteilnehmer bejahen eine Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit durch diese Leberpräparatgaben. „Es trat nach unserer Beobachtung bei den jüngeren Mitgliedern früher, bei den älteren später, aber spätestens 10 Tage nach der ersten Lebermahlzeit eine deutliche Rückkehr des Wohlbefindens ein, daher glauben die meisten von uns an einen günstigen Einfluß der Lebergaben."

Als eine Folge der günstigen Wirkung der Leberpräparate wird noch folgendes angeführt: Sowohl Frau Dyrenfurth wie Dr. Richter litten beim Anmarsch zum Standlager stark unter den Erscheinungen der Höhenkrankheit, die sich in Herzangst und Atemnot sowie außerordentlich geringer körperlicher Leistungsfähigkeit zeigte. Während Frau Dyrenfurth sich nicht für die Einnahme der Präparate entscheiden konnte und 4 Wochen bis zur Rückkehr ihrer vollen Marschfähigkeit und Wohlbefindens benötigte, nahm diese Anpassung bei Dr. Richter, der genannte Präparate nach Ankunft im Lager regelmäßig einnahm, nur etwa 8—10 Tage in Anspruch. „Dieser Vergleich des Anpassungsverlaufs in zwei Fällen schwerer Höhenkrankheit, die das gleiche Alter betreffen und nach der vorliegenden Erfahrung eher eine schnellere Anpassung der Frau erwarten ließen, spricht nach der Auffassung der Teilnehmer sehr zugunsten der Leberdarreichung, auch wenn man hier das mögliche Vorhandensein unberechenbarer individueller Unterschiede berücksichtigt." — Blutkörperchenzählungen wurden bei dieser Expedition nicht vorgenommen. Hb.-Bestimmungen ergaben, daß die Hb.-Werte der Europäer, die Hepatrat eingenommen hatten, in 6000 m Höhe wesentlich höher waren, als die der eingeborenen Sherpas. Blutausstriche, die von Euro-

päern, Sherpas und Tibetanern stammten, wurden nur nach ihrer Dichte beurteilt, wozu bemerkt wird: „Die Dichte der Blutbilder spricht für eine starke Vermehrung der roten Blutzellen unter Hepatrat-Medikation."

Ob es sich bei der vorhin erwähnten beschleunigten Anpassung im Standlager nach 8tägigem Aufenthalt tatsächlich um eine Folge der Lebermedikation handelt, wird selbst von Dr. Richter nicht als ganz sicher angenommen, wenn er von „der Möglichkeit vorhandener, unberechenbarer individueller Unterschiede" spricht. Auch ist die Anpassungszeit von 8 Tagen für diese Höhe nicht übermäßig kurz, wenn man z. B. den Fall Odell berücksichtigt, der 1924 11 Tage in 7000 m Höhe lebte, einen Tag in 7500 m und anschließend an zwei aufeinanderfolgenden Tagen bis 8200 m ohne Sauerstoffgerät und ohne Lebergaben anstieg. Hier dauerte die natürliche Anpassung an die Höhe zwischen 7000—8000 m nur 11 Tage.

Eigene Versuche mit Präparaten, die die Anpassungszeit verkürzen und die Erscheinungen der Bergkrankheit verhindern sollen, finden sich in dem Bericht über die Veränderungen im Blutbild bei kurzem Höhenaufenthalt.

Während schon 1878 die ersten Berichte über den Einfluß des Höhenklimas auf die Erythrozyten erschienen waren, wurden erst im Jahre 1914 Untersuchungen veröffentlicht, die sich mit der Frage der Veränderungen im weißen Blutbild befassen. Zwar wurden anläßlich der zahlreichen Erythrozyten- und Hb.-Bestimmungen auch Leukozyten untersucht und die Zahl, übereinstimmend mit den heutigen Ansichten, als unverändert angegeben, doch erst 1914 wurden von verschiedenen Forschern die Verschiebungen im weißen Blutbild zugunsten der mononukleären Formen festgestellt. Stäubli ist auf Grund seiner Erfahrungen in St. Moritz (1800 m) der Ansicht, daß die Leukozytenwerte im Hochgebirge eine Tendenz zur Erniedrigung zeigen, es zu einer absoluten Verminderung der Neutrophilen und einer Vermehrung der mononukleären Formen kommt. Im Jahre 1916 veröffentlichten Meyer und Seyderhelm die Ergebnisse von Fliegeruntersuchungen. Die Zahl der Leukozyten wird als normal angegeben. In 20 unter 24 Fällen fand sich eine Lymphozytose über 30—51%, in den übrigen 4 Fällen, bei denen eher ein Ueberwiegen der neutrophilen Leukozyten festzustellen war, ergab die Anamnese vor kurzer Zeit überstandene schwere Infektionskrankheiten. Es decken sich diese Befunde mit denen ein Jahr später von Kaulen veröffentlichten, der auf Grund der Untersuchung von 50 Fliegern eine starke Lymphozytose festgestellt hatte. In der Folge befaßten sich vor allem Schweizer For-

scher mit der Veränderung im weißen Blutbild. Auch von ihnen wurde die Zunahme der Lymphozyten auf Kosten der neutrophilen Leukozyten als Hauptmerkmal beobachtet. Auch Tiere, die längere Zeit starker Luftverdünnung ausgesetzt waren, zeigten diese Erscheinungen. Als Beweis, daß die Veränderungen eine Folge der Luftverdünnung und des Sauerstoffmangels aufgefaßt werden müssen, führt Gutstein die Lymphozytose und Eosinophilie an, die bei Hunden nach Anlegen eines Pneumothorax auftrat.

Ein vorübergehendes Ansteigen der Leukozytenwerte beim Uebergang vom Tal in größere Höhen bezeichnet Ruppaner als „Akklimatisationsleukozytose". Derselbe Autor unterscheidet in seinem Bericht zwischen den Dauerbewohnern mittlerer und großer Höhen und Personen, die aus Orten niederer Meereshöhe ins Höhenklima kommen. Aus seinen Befunden ergibt sich, „daß die Gesamtzahl der Leukozyten beim gesunden Alpenbewohner an der unteren Grenze der für das Tiefland geltenden Werte steht". Besonders gilt dies für Männer, bei Frauen finden wir meist normale Zahlen. Was die Zusammensetzung der einzelnen Leukozytenformen anbetrifft, so weist der gesunde Gebirgsbewohner eine absolute Verminderung der neutrophilen Elemente auf. Die Lymphozyten zeigen dagegen eine deutliche prozentuale und absolute Vermehrung. Außerdem finden wir eine geringgradige der großen Mononukleären- und Uebergangsformen. „Wenn bei den Leuten, die sich nur vorübergehend in Höhenlagen aufhalten, diese Erscheinungen nicht so deutlich sind, so ist doch die Tendenz vorhanden, sich den Verhältnissen, wie wir sie bei den Einheimischen treffen, zu nähern."

Einen ausgezeichneten Ueberblick über das Verhalten der weißen Blutzellen in sehr großen Höhen verdanken wir der Arbeit von Hartmann, der bei der Deutschen Himalaja-Expedition 1931 in Höhen bis zu 7600 m bei mehreren Bergsteigern und Trägern Blutausstriche ausfertigte. Er bestätigt für die mittleren Höhen die von den bisherigen Untersuchern angegebenen Werte, ergänzt aber die Kenntnisse über die Veränderungen in größten Höhen. Seine Ergebnisse sind in folgender Tabelle, die der Klinischen Wochenschrift 12/12 entnommen ist, zusammengefaßt:

	Höhe in Metern								
Zellformen	0	2800	4400	5600	6300	6600	7200	7600	600
Eosinophile	3	5	2	3	3	3	3	3	3
Stabkernige	1	2	1	1	1	1	3	1	1
Segmentkg	64	44	50	54	56	58	61	63	52
Lymphozyten	29	45	42	39	37	32	27	29	40
Große Mono.	3	4	5	3	3	6	6	5	4

Es tritt demnach „beim Uebergang von Meeresniveau in mittlere Höhen von etwa 3000 m eine Lymphozytose von 45% auf. Die starke relative Vermehrung der Lymphozyten ist im Differentialblutbild von einem entsprechenden Rückgang der neutrophilen Zellen begleitet. Hartmann fand während dieser Akklimatisationslymphozytose sehr große protoplasmareiche Lymphozyten. Außerdem treten ab und an große, dunkel gefärbte Reizformen mit tiefblauem Protoplasma in den Bildern aus dieser ersten Anpassungszeit auf". Die Eosinophilie (5%), die gleichzeitig mit dieser Lymphozytose auftritt, ist nach Beobachtungen Hartmanns nach wenigen Tagen wieder verschwunden. „Ganz allmählich, im Verlauf von etwa 10 Wochen bildet sich die Akklimatisationslymphozytose wieder zurück, obgleich dem Organismus während dieser Zeit ein stetiges Vordringen in immer größere Höhen und eine entsprechende Anpassung zugemutet wird. Schließlich finden wir in einer Höhe von 7600 m bei allen 5 Versuchspersonen, die bis dahin vorgedrungen waren, ein in seiner Zusammensetzung völlig normales weißes Blutbild."

Dagegen fällt bei den in 6000 bis 7600 m abgenommenen Blutausstrichen eine starke Uebersegmentierung der neutrophilen Zellformen auf, eine Erscheinung, die bei Avitaminosen wie Beriberi und Skorbut beobachtet wird. Hartmann kommt zu dem Schluß, daß die Uebersegmentierung weniger eine Wirkung des Höhenklimas als die eines Vitaminmangels ist, zumal sich zu dieser Zeit auch Wachstumsstörungen an Nägeln, Haarausfall und Empfindlichwerden des Zahnfleisches einstellten. Die Klärung dieser Frage gelang in diesem Jahre, da bei der Deutschen Himalaja-Expedition 1936 von Hepp Blutausstriche angefertigt wurden, die Teilnehmer jedoch täglich Cebion zu sich nahmen, so daß Vitaminmangel für eine diesmal auftretende Uebersegmentierung ausscheiden muß.

Auch nach Rückkehr nach Deutschland, 1½ Monate nach Aufenthalt in Höhen um 7000 m konnte ich bei Blutausstrichen der Expeditionsteilnehmer diese erhebliche Uebersegmentierung der neutroph. Leukozyten feststellen. Es scheint sich also doch um eine Wirkung des Höhenklimas zu handeln.

Bei Rückkehr ins Tal setzt die im Laufe längeren Höhenaufenthalts verschwundene Lymphozytose wieder ein. Es scheint sich hier demnach um eine Reaktion auf Klimawechsel zu handeln und nach Hartmann nicht um eine eigentliche charakteristische Wirkung des Höhenklimas.

Eine graphische Darstellung der einzelnen Zellverschiebungen im Laufe der Himalaja-Expedition 1931 findet sich in der Klinischen Wochenschrift 12/12.

Die von Heilmeyer in 2650 m Höhe erhobenen Befunde bestätigen die Lymphozytose und geringe Eosinophilie, die von anderen Autoren angegeben wird. Ferner stellt H. leichte Linksverschiebung fest. Der Ansicht Hartmanns, daß es sich bei der Verschiebung zugunsten der mononukleären Zellen um eine Akklimatisations-Lymphozytose handelt, schließt sich genannter Untersucher nicht an, da bei Leuten, die schon 1—2 Jahre in dieser Höhe leben und diese Erscheinung zeigen, die Veränderung als Dauerzustand anzusehen ist. „Man kann darin eine veränderte Tonuseinstellung des vegetativ-nervösen Regulationsmechanismus erblicken."

Eigene Untersuchungen an den Dauerbewohnern in 2650 m und 2960 m Höhe zeigen die erwähnte Lymphozytose und wenigstens in einigen Fällen eine deutliche Eosinophilie. Eine Linksverschiebung war nicht zu beobachten.

Für die Akklimatisations-Lymphozytose Hartmanns spricht, daß die sogenannten „Dauerbewohner" des Schneefernerhauses alle 14 Tage ins Tal fahren. Gegen diese Theorie spricht, daß sich die Lymphozytose auch bei Personen findet, die nachweisbar mehrere Monate nicht mehr im Tal waren, sowie die auf dem Berninapaß von Schweizer Untersuchern erhobenen Befunde.

Wie bei der Zunahme der roten Blutzellen und des Hb. noch immer keine völlige Klarheit herrscht, ob der Sauerstoffmangel oder der verminderte Luftdruck oder beide zusammen die auslösende Ursache sind oder inwieweit Temperatur- und Lichteinflüsse fördernd wirken, ist auch die Frage der Ursache für die Zellverschiebungen im weißen Blutbild noch ungeklärt.

Eine Erklärung für die Akklimatisationsleukozytose, die vorübergehend geringe Vermehrung der weißen Blutzellen auf etwa 9000 cmm sucht Ruppaner in einer Steigerung des Stoffwechsels, der eine Folge des vermehrten Sauerstoffverbrauchs und der vermehrten Kohlensäureausscheidung ist. „Sie dürfte dann vielleicht auf die gleiche Stufe gestellt werden wie die Leukozytose, die wir nach Anstrengungen und nach neueren Untersuchungen auch bei Fliegern finden." Auch bestimmte klimatologische Reize werden als Ursache vermutet.

Die Verschiebung zugunsten der Lymphozyten glaubt Stäubli in folgender Weise erklären zu können: „Das Leukozytenbild des normalen Menschen ist im gewissen Sinne durch den Bakterienreichtum seiner Umgebung bedingt." Die Verminderung der neutrophilen Zellen soll demnach im Zusammenhang mit der Reinheit der Hochgebirgsluft an Bakterien und sonstigen Verunreinigungen stehen.

Wanner dagegen hält die Lymphozytose für eine Reaktion des Knochenmarks auf eine besondere Reizwirkung des Höhenklimas, eine Ansicht, der sich auch Ruppaner anschließt.

Zusammenfassung: Die Zahl der weißen Blutzellen ist im Höhenklima gegenüber den Talwerten unverändert. Sie ist höchstens etwas erniedrigt. Beim Uebergang vom Tal in mittlere und große Höhen kommt es zu einer kurz dauernden geringen Vermehrung aller weißen Blutzellen sowie zu einer mehr oder minder starken Eosinophilie. In Höhen von 1500—6500 m wird eine auffallende Verschiebung im weißen Blutbild zugunsten der Lymphozyten auf Kosten der neutrophilen Leukozyten beobachtet. In größten Höhen ist die Zusammensetzung wieder den Talwerten entsprechend. Ob die Uebersegmentierung der neutrophilen Leukozyten in größten Höhen als eine Wirkung des Höhenklimas anzusehen ist, wird noch geklärt werden.

In den letzten Jahren wurde über das Verhalten der Thrombozyten im Höhenklima von Heilmeyer gearbeitet. Ihre Zahl ist abgesehen von einer geringen Vermehrung in den ersten Tagen des Höhenaufenthaltes, die mit der Akklimatisations-Leukozytose zusammenfallen, nicht erhöht.

Verhalten von Erythrozyten, Hämoglobin und Retikulozyten bei kurzem Aufenthalt in mittleren und großen Höhen.

Es ist eine Erfahrungstatsache, daß die Akklimatisation an die 4000er Region bei einigermaßen trainierten Bergsteigern schon innerhalb 1—2 Tagen vollzogen und ausreichend ist, schwierige Bergfahrten auch mit reichlichem Gepäck durchzuführen. Es ist weiterhin bekannt, daß die allermeisten Bergbahnbenützer, die aus dem Flachland kommen, Fahrten in Höhen bis 3000 und 3500 m ohne nennenswerte Störungen vertragen. Inwieweit sichtbare Veränderungen im Blutbild dabei vor sich gehen, sollte durch Beobachtung der Retikulozyten festgestellt werden, deren vermehrtes Auftreten im kreisenden Blut, wie schon erwähnt, „die erste Reaktion des blutbildenden und speichernden Apparates" auf diese Reize darstellt.

Wie die folgenden Zusammenstellungen zeigen, wurde das Verhalten der Retikulozyten zunächst auf einer Fahrt zum Jungfraujoch und 3 Fahrten mit der Bayerischen Zugspitzbahn untersucht.

Fahrt: München-Jungfraujoch.

Datum	Ort	Zeit	Meereshöhe	W.B.	H.K.
23. 8. 36	Vierwaldstättersee	13.30	439	7	5
23. 8. 36	Grimselhospiz sofort nach Ankunft	18.00	1960	7	5

Datum	Ort	Zeit	Meereshöhe	W.B.	H.K.
24. 8. 36	Grimselhospiz nach Uebernachten	7.00	1960	8	5
24. 8. 36	Jungfraujoch	19.00	3450	11	8
25. 8. 36	Jungfraujoch	10.00	3450	12	8
25. 8. 36	Jungfraujoch	15.00	3450	9	9
25. 8. 36	Jungfraujoch nach Tour zum oberen Mönchjoch (3600 m)	18.30	3450	10	9
26. 8. 36	Jungfraujoch nach Besteigung des Jungfraugipfels (4100 m)	9.15	3450	13	
26. 8. 36	Jungfraujoch	16.00	3450	11	8
27. 8. 36	Jungfraujoch	9.00	3450	11	16
27. 8. 36	Brieg nach Fahrt von Lauterbrunnen über Grimsel	20.00		13	
	München			6	

Färbung nach Seyfarth.

I. Zugspitzfahrt 9/10. 10. 36.

1) 9. 10. 36 München.

2) 10. 10. 36 Riffelriß (1700 m) Abfahrt in München war um 8 Uhr erfolgt.

3) 10. 10. 36 21 Uhr im Münchener Haus auf der Zugspitze (2960 m).

4) 11. 10. 36 9 Uhr (nüchtern) nach Uebernachtung auf dem Münchener Haus.

5) 11. 10. 36 15 Uhr 30 nach Rückkehr von einer Skifahrt zum Schneefernerkopf (2800 m), Hotel Schneefernerhaus (2650 m).

6) 11. 10. 36 München. Abfahrt von Station Schneefernerhaus war um 17 Uhr erfolgt.

	1)	2)	3)	4)	5)	6)
E. F.	6	6	8	13	14	14
H. K.	6		7	11	13	19
W. K.	10		16	17	22	21
W. B.	11	11	11	15	13	21

Färbung nach Ederle.

II. Zugspitzfahrt 19./20. 10. 36.

1) 18. 10. 36 22 Uhr München.

2) 19. 10. 36 15 Uhr Zugspitzgipel (2960 m). Abfahrt von München war um 9 Uhr erfolgt. Fahrt zum Schneefernerhaus und weiter zum Gipfel 11 Uhr.

3) 20. 10. 36 9 Uhr 30 (J. C. und W. B.) nach Uebernachten im Münchener Haus auf der Zugspitze (2960 m).

4) 20. 10. 36 15 Uhr Schneefernerhaus (2650 m).

5) 20. 10. 36 22 Uhr München, Abfahrt von der Zugspitze 17 Uhr.

	1)	2)	3)	4)	5)
J. C.	2	5	5	20	18
W. B.	14	14	12	8	17
J. M.	9	12			14
Z. B.	8	9			17

Färbung nach Ederle.

Da einige Präparate (J. M. 4 und Z. B. 4) wahrscheinlich infolge der erhöhten Resistenz der Erythrozyten gegen NaCl-Lösung sich nicht färbten, wurden bei der 3. Zugspitzfahrt nur die Ergebnisse der nach Seyfarth gefärbten Präparate angegeben.

III. Zugspitzfahrt 24./25. 10. 36.

1) 23. 10. 36 20 Uhr München.

2) 24. 10. 36 19 Uhr Zugspitzgipfel (2960 m). München ab 9 Uhr, Garmisch ab 11 Uhr. Nachmittags Skifahrt zum Schneefernerkopf (2800 m), 15 Uhr 30 Fahrt zum Gipfel.

3) 25. 10. 36 9 Uhr Zugspitzgipfel nach Uebernachtung auf dem Münchener Haus.

4) 25. 10. 36 15 Uhr Schneefernerhaus (2650 m). Nach Rückkehr von einer Skitour zum Wetterwandeck.

5) 25. 10. 36 22 Uhr München.

	1)	2)	3)	4)	5)
H. K.	9	17	9	9	13
D. E.	8	8	1	5	16
G. R.	4	2	11	6	11
W. B.	14	14	12	5	16

Färbung nach Seyfarth.

Bei D. E. 3) handelt es sich wohl um den von Heilmeyer erwähnten Retikulozytensturz am Tage nach der Auffahrt. Im Laufe des 25. 10. 36 war mit Ausnahme von Versuchspersen D. E. bei allen Teilnehmern ein deutliches Abfallen der Werte zu beobachten. Dies ist um so bemerkenswerter, als die Schifahrten zum Wetterwandeck bei wolkenlosem Himmel und kräftiger Sonnenbestrahlung durchgeführt wurden. Es wurde verschiedentlich vermutet, daß gerade die ultravioletten Strahlen die Ursache der Retikulozytose im Höhenklima seien. Die Tatsache, daß hier ein Absinken der Werte stattfand und folgender Versuch sind in der Lage, genannte Ansichten zu widerlegen: Bei einer Zugspitzfahrt wurde von einer Gruppe die Fahrt auf die Zugspitze um 11 Uhr bei gutem Wetter angetreten, der Nachmittag auf dem Zugspitzgipfel meist im Freien verbracht. Die zweite Gruppe fuhr in der Dämmerung um 17 Uhr 30 in Garmisch ab und erreichte den Zugspitzgipfel 20 Uhr. Bei Vergleich der Retikulozytenwerte fand sich kein Unterschied in der Zunahme der Werte bei den beiden Gruppen. Daß bei Bestrahlung mit künstlicher Höhensonne Retikulozytose erreicht wurde, ist als Folge einer Bestrahlung größerer Hautpartien aufzufassen, während bei Bergtouren und Bergbahnfahrten meist nur das Gesicht den genannten Strahlen ausgesetzt ist.

Aus den letzten drei Tabellen geht hervor, daß die höchsten Ret.-Zahlen, nach dem bereits auf der Zugspitze schon teilweise ein Absinken festgestellt wurde, bei Rückkehr ins Tal zu sehen waren. Es bestand also die Frage, ob dieser neuerliche Anstieg durch die Luftdruckveränderung der Talfahrt bedingt war. Der nächste Aufenthalt auf der Zugspitze wurde also auf 3 Tage verlängert und wie die folgenden Zahlen zeigen, zu der Zeit, zu der nach der Talfahrt der Ret.-Anstieg erfolgte, ein wesentlich geringerer Anstieg festgestellt. Es scheint also tatsächlich auch die Talfahrt durch Aenderung der Luftdruckverhältnisse einen Einfluß auf die Ausschwemmung jugendlicher Erythrozyten auszuüben. Doch läßt sich hier, wie der Wert vom 1. 11. 36 zeigt, keine Regel aufstellen.

29. 10. 36	16 Uhr	München	9
30. 10. 36	19 Uhr	Zugspitzgipfel	12
31. 10. 36	8 Uhr	Zugspitzgipfel	11
31. 10. 36	17 Uhr	Schneefernerhaus	8
31. 10. 36	22 Uhr	Schneefernerhaus	12
1. 11. 36	8 Uhr 30	Schneefernerhaus	8
1. 11. 36	15 Uhr	Schneefernerhaus	7
1. 11. 36	21 Uhr 30	München	9

Färbung nach Seyfarth.

Wenn auch die letzten Tabellen einen deutlichen Ret.-Anstieg unter der Wirkung des Höhenklimas erkennen lassen, so sind doch Schwankungen im Laufe des Tages zu beobachten, die durch Luftdruckveränderungen oder Schwankungen der Sauerstoffspannung sich nicht erklären lassen. Wie wenig Strahleneinwirkungen die Werte beeinflussen können, ist eben erwähnt worden.

Mehrere Untersuchungen im Verlaufe eines Tages, die in München vorgenommen wurden, ließen auch hier erhebliche Schwankungen im Gehalt an jugendlichen Blutzellen erkennen. Es lag daher die Vermutung nahe, daß Verdauungsvorgänge hier von Einfluß sein könnten. Seyderhelm und Grebe veröffentlichen unter dem Titel „Vitamine und Blut" die Ergebnisse ihrer Untersuchungen nach Gaben von reinen Vitaminen bzw. stark vitaminhaltiger Nahrungsmittel. „Anläßlich von Blutuntersuchungen am gesunden und kranken Menschen im Anschluß an perorale bzw. parenterale Verabreichung der verschiedenen Vitamine fand sich eine mit auffallender Regelmäßigkeit auftretende Vermehrung der jüngsten roten Blutkörperchen im kreisenden Blut, in der wir auf Grund der jetzt vorliegenden Beobachtungen eine Gesetzmäßigkeit erblicken zu müssen glauben. Es gilt dies vor allem für die rein dargestellten Vitamine C und D."

Als Folge wechselnden Vitamin-C-Gehalts der Nahrung glaubt Seyderhelm auch die Tatsache deuten zu dürfen, daß bei umfangreichen Untersuchungen an Gesunden sich im Frühjahr Durchschnittszahlen von 12, 15, 20‰ gegenüber 3, 6 und 10‰ in den Wintermonaten ergaben.

Bei den Versuchen, die einen Anstieg der jugendlichen Erythrozyten auf die 2—4fachen Ausgangswerte zeigten, wurden Vitaminmengen verwendet, die die normale Tagesdosis nicht überschritten. So wurden genannte Wirkungen mit Mengen wie 150 g Tomatensaft, oder 30 g Zitronensaft oder entsprechende Mengen des rein hergestellten Vitamins erreicht.

Wenn also bereits geringe Vitaminmengen oder vitaminhaltige Nahrungsmittel von so erheblichem Einfluß auf die jugendlichen Erythrozyten sind, ist es unbedingt erforderlich, derartige Einflüsse auszuschließen oder exakt zu bewerten, um die tatsächliche Wirkung des Höhenklimas zu erfahren.

Nachdem bei einer Zugspitzfahrt im Jahre 1932 eine deutliche Zunahme der roten Blutzellen festgestellt war, sollte bei den folgenden Untersuchungen außer Retikulozytenzählungen auch Erythrozyten- und Hb.-Bestimmungen vorgenommen werden. Anläßlich einer Medizinerexkursion auf die Zugspitze im Dezember 1936 war Gelegenheit, umfangreiche Untersuchungen über das Verhal-

ten von Erythrozyten, Hb. und Retikulozyten bei einer eintägigen Zugspitzfahrt anzustellen. Da die Ergebnisse dieser Fahrt grundlegend für die folgenden Untersuchungen waren, sollen sie im folgenden wiedergegeben werden.

Bei den Teilnehmern der Fahrt, die sich für die Versuche zur Verfügung gestellt hatten, wurde am Vortage im Laufe des Nachmittags Erythrozyten/cmm, Hb. und Zahl der Ret. 1000 rote Blutzellen festgestellt. Die zweite Untersuchung fand im Hotel Schneefernerhaus 4 Stunden nach Ankunft statt. Nach der Rückkehr nach München wurde zwischen 21 Uhr 30 und 23 Uhr die Kontrolluntersuchung durchgeführt. Auf der Zugspitze konnten wegen Zeitmangels nur beschränkte Erythrozytenzählungen vorgenommen werden.

Nach den bisherigen Erfahrungen war mit einer, wenn auch nicht sehr starken Zunahme der Erythrozyten und des Hb. und einer deutlichen Steigerung des Retikulozytenanteils bei der II. und III. Untersuchung zu rechnen. Die Ergebnisse zeigen jedoch völlig unerwartete Werte.

Während die Retikulozytenwerte wie erwartet eine teilweise recht beträchtliche Zunahme erfuhren, deren Höhepunkt zeitlich etwas differiert, war bei der Mehrzahl der Teilnehmer eine Abnahme der Erythrozyten auf der Zugspitze und besonders am Abend des Hauptuntersuchungstages zu verzeichnen. Diese Abnahme gegenüber den Werten des Vortages liegt weit außerhalb der Fehlergrenze, da bei den technischen Arbeiten große Sorgfalt angewandt wurde und die Erythrozyten-Bestimmungen bei den einzelnen Versuchspersonen meist von demselben Untersucher durchgeführt wurden. Die Abnahme betrug bei 11 Personen zwischen 200 000 und 1 000 000 Zellen/cmm, bei zwei Teilnehmern blieb sie unverändert, bei zwei Teilnehmern fand sich eine Zunahme von 130 000 bzw. 630 000. Ein Parallelismus zwischen den Veränderungen in der Erythrozyten-Zahl und dem Hb.-Gehalt des Blutes war, wie schon Seyderhelm bei Fliegeruntersuchungen feststellen konnte, nicht deutlich wahrzunehmen.

Trotz dieser Befunde war nicht anzunehmen, daß unter der Wirkung des Höhenklimas in der ersten Zeit nur eine Abnahme der roten Blutkörperchen stattfinden würde. v. Felsebrunn fand bei einer Zugspitzfahrt 1932 sofort nach Ankunft auf dem Schneefernerhaus eine beträchtliche Zunahme der Erythrozyten, so daß die Vermutung nahelag, daß nach anfänglicher übermäßiger Ausschwemmung der Erythrozyten aus den verschiedenen Depots eine ebenfalls überstürzte Rückresorption stattfinden könnte. Bei der Fahrt im Dezember 1936 waren also scheinbar die Zählungen schon zur Zeit der Rückresorption der Blutzellen vorgenommen worden und hatten so dieses eigenartige Bild erzeugt.

Es sollte daher in folgenden Versuchen der vollständige Verlauf der Erythrozyten-Kurve festgestellt werden, gleichzeitig aber zum exakten Studium der Retikulozyten die „Vitaminfehlerquelle" ausgeschaltet werden.

Der Versuchsplan war folgender: Bei mindestens fünfmaliger Untersuchung im Laufe des Tages sollten die Erythrozyten-Werte vor der Zugspitzfahrt, sofort nach der Ankunft, noch zweimal im Laufe des Nachmittags und nach Rückkehr ins Tal festgestellt werden. Um gleichzeitig guten Einblick in die Retikulozytenverhältnisse zu gewinnen, wurde für diesen Tag eine bestimmte Ernährung festgelegt. Unter den gleichen Ernährungsbedingungen und zu denselben Zeiten sollten nach einigen Tagen im Tal die gewonnenen Ergebnisse verglichen werden.

Zugspitzfahrt 27. 1. 1937.

1) München (nüchtern) Abfahrt nach Garmisch 6 Uhr 30.
2) 11 Uhr nach Ankunft im Hotel Schneefernerhaus (2650 m).
3) 13 Uhr 15 nach Rückkehr von einer Seilbahnfahrt zum Zugspitzgipfel.
4) 15 Uhr 15 nach Rückkehr von einer Schifahrt zum Schneefernerkopf (2800 m).
5) 19 Uhr Garmisch. Abfahrt von Station Schneefernerhaus erfolgte 17 Uhr.

	R.K.			W.B.			H.K.
	Ery.	Hb.	Ret.	Ery.	Hb.	Ret.	Ery.	Hb.
1)	4 970 000	89%	10‰	4 250 000	86%	6‰	4 430 000	81%
2)	5 230 000	90%	13‰	4 880 000	88%	15‰	4 970 000	81%
3)	4 820 000	94%	13‰	4 230 000	80%	19‰	4 550 000	84%
4)	4 850 000	92%	16‰	4 290 000	81%	11‰	4 150 000	80%
5)	4 110 000	93%	7‰	4 410 000	84%	7‰	4 020 000	84%

Um die Fehlerquellen zu vermeiden, die durch Nahrungsaufnahme und körperliche Betätigung entstehen, wurden drei Tage später unter den gleichen Ernährungsbedingungen und körperlichen Leistungen zu denselben Tageszeiten Kontrolluntersuchungen in Berg/Starnbergersee (500 m) durchgeführt.

	R.K.			W.B.		
	Ery.	Hb.	Ret.	Ery.	Hb.	Ret.
1)	4 920 000	95%	15‰	4 320 000	94%	10‰
2)	4 850 000	92%	14‰	4 460 000	92%	4‰
3)	4 520 000	92%	13‰	4 590 000	87%	11‰
4)	4 740 000	92%	16‰	4 410 000	89%	7‰
5)	4 500 000	92%	11‰	4 444 000	89%	8‰

Den Tabellen und Kurven ist zu entnehmen, daß direkt nach der Ankunft in 2650 m Höhe der höchste Erythrozytenstand zu beobachten ist, daß es dann im Laufe des Tages, vor allem aber bei der Talfahrt, zu einer deutlichen Abnahme der roten Blutkörperchen kommt.

Der höchste Stand der Retikulozyten ist im Laufe der ersten Stunden nach der Ankunft in der Höhe erreicht und sinkt bei der Rückkehr ins Tal wieder ab.

Bei Vergleich der Befunde, die bei der Zugspitzfahrt und im Tal erhoben wurden, zeigt sich, daß die Veränderungen tatsächlich auf Wirkungen der Bergfahrt und des Höhenklimas zurückzuführen sind.

Eine Erklärung für das Verhalten der roten Blutzellen ist folgende: Wie schon erwähnt werden zwei Ursachen für die Ausschwemmung bzw. Neubildung von Blutzellen vermutet: 1. der verminderte Luftdruck, 2. der Sauerstoffmangel. Bei der Fahrt von Garmisch (700 m) zum Schneefernerhaus (2650 m), die in 1 Stunde 45 Minuten vor sich geht, wirkt höchstwahrscheinlich die Differenz des Luftdruckes anregend auf das Knochenmark. Da aber der Sauerstoffmangel auf der Zugspitze sicher nicht größer ist als in der Stadt in mangelhaft gelüfteten Arbeitsräumen, große körperliche Arbeit aber nicht geleistet werden muß, kommt es zu einer Rückresorption der Sauerstoffträger in die Depots. Ein neuer Anreiz zur Rückresorption ist dann noch bei der Talfahrt im Steigen des Barometerdruckes zu suchen, so daß aus diesen Vorgängen die beobachteten Werte resultieren.

Daß auch Viskositätsschwankungen durch Ineinandergreifen der verschiedenen Blutkörperchen- oder Plasmadepots eine Rolle spielen können, soll eine genauere Betrachtung dieser Speicher, deren Tätigkeit Barcroft als Notmaßnahmen bezeichnet, verständlich machen. Als Blutdepot wurde von Barcroft die Milz genannt, die infolge ihres anatomischen Baues in der Lage ist, einerseits Blut auszupressen und in den Kreislauf auszuschütten, anderseits dem Kreislauf Blut zu entziehen. Es ist nachgewiesen, daß in der Milz konzentrierteres blutkörperchenreicheres Blut gespeichert wird.

Haam und Lauda kommen auf Grund ihrer Arbeiten auf diesem Gebiet zu dem Schluß, daß der Anstieg der gesamten Erythrozyten ursächlich wenigstens teilweise auf die Ausschwemmung der Erythrozytenlager der sich kontrahierenden Milz zu beziehen sei. Diese Behauptung wird durch zeitliches Zusammenfallen der Erythrozytenanstiege mit der medikamentös ausgelösten Milzkontraktion, ferner durch Vergleiche von Milzvenenblut mit dem

anderer Gefäßbezirke sowie vergleichenden Versuchen an splenektomierten Tieren bewiesen. Weitere Blutdepots werden ferner neben Milz und Leber in zahlreichen Venengebieten des Körpers vermutet (Gollwitzer und Meier).

Wollheim wies derartige Depots in den subpapillären Plexus des Menschen nach (hier Erhöhung des Erythrozytengehalts um 0,5 bis 1 Million). Jarisch und Ludwig geben die Mesenterialvenen, Gable und Overhof die Muskelkapillaren, H. Ludwig die Leberkapillaren als Speicher an. Hundeversuche haben gezeigt, daß die Leber 59% ihres Gewichtes an Blut auspressen kann, auf den Menschen umgerechnet entspräche dies bei einem 70 kg schweren Mann etwa 1,5 l. Diese genannten Depots speichern zellreicheres als das strömende Blut und werden von W. Ludwig als „Blutkörperchenspeicher" bezeichnet. Die Tatsache, daß Aenderungen in der zirkulierenden Blutmenge nicht immer mit Viskositätsschwankungen einhergehen, läßt nun das Bestehen sogenannter „Plasmadepots" vermuten, deren Bestehen nach Ausschalten der Blutkörperschenspeicher, also splenektomierten Tieren und Menschen nachgewiesen werden kann. Ludwig faßt seine Ergebnisse folgendermaßen zusammen: „Der Organismus bestreitet Zunahmen der zirkulierenden Blutmenge gegenüber der Norm vorwiegend dadurch, daß er blutkörperchenreicheres Blut in die Zirkulation treten läßt, während Abnahmen größtenteils in Verminderung der Plasmamenge bestehen. Auf Grund von Hundeversuchen ergibt sich die Notwendigkeit der Annahme von Depots, die vorwiegend blutkörperchenarmes bzw. -freies Blut speichern." Versuche mit Hunden mit Angiostomie der Pfortader und der Lebervene machen es sehr wahrscheinlich, daß die Leberzellen an der Regulation der zirkulierenden Blutmenge in dem Sinne beteiligt sind, daß sie aus dem durch die Leberkapillaren strömenden Blut Flüssigkeit entnehmen und solche wieder an das Blut abgeben können. Der Leber dürfte demnach eine doppelte Funktion zukommen. Einerseits Retention durch Abgabe von blutkörperchenreichem Blut durch Erweiterung und Lähmung ihres Kapillargebietes (Blutkörperchendepot), anderseits Entnahme oder Abgabe von Flüssigkeit durch die Leberzellen (Plasmadepot). Es ist nicht sehr wahrscheinlich, daß durch eine vorübergehende Störung des vegetativen Nervensystems unter dem plötzlichen Einfluß des Höhenklimas das geregelte Zusammenarbeiten dieser Speicher gestört wird und auf diese Weise die eigenartigen Zahlen der roten Blutkörperchen bei kurzem Aufenthalt im Höhenklima entstehen.

Wird der Aufenthalt in mittleren Höhen, z. B. Zugspitze, auf 2 Tage verlängert, dann wird die Erscheinung des Erythrozyten-

sturzes bei Rückkehr ins Tal vermißt, wie die folgende Zusammenstellung zeigt:

München	vor	und nach 1½tägigem Aufenthalt auf der Zugspitze
E.F.	4 860 000	5 150 000
J.C.	4 570 000	4 620 000
J.M.	4 740 000	4 910 000
Z.B.	4 810 000	4 870 000
W.B.	4 820 000	4 960 000
H.K.	4 570 000	4 360 000
W.B.	4 180 000	4 840 000
G.R.	4 520 000	4 810 000

Mit einer Ausnahme ist eine geringe Zunahme der roten Blutkörperchen zu verzeichnen. Nach der Abnahme am Abend des ersten Tages folgt demnach ein erneuter Anstieg, der auch nach der Talfahrt nicht sofort verschwindet.

Zusammenfassung: Bei Bergbahnfahrten in Höhen bis etwa 3000 m steigt die Zahl der roten Blutkörperchen zunächst um mehrere 100 000 pro cmm an. Der Höhepunkt ist direkt nach der Ankunft in genannter Höhe erreicht. Die Zahl sinkt im Verlauf des Höhenaufenthalts deutlich ab und erreicht ihren tiefsten Stand nach Rückkehr ins Tal. Am folgenden Tag sind wieder normale Zahlen festzustellen.

Die Schwankungen im Hb.-Gehalt des Blutes sind nicht deutlich genug, um daraus Rückschlüsse auf Einwirkung des Höhenklimas zu ziehen. Bereits am 2. Tag ist eine bedeutende Zunahme in den meisten Fällen festzustellen. Es hat den Anschein, als ob vom 2. Tag an die Zunahme des Hb. noch rascher als die der Erythrozyten vor sich geht.

Die Retikulozyten steigen bei eintägigen derartigen Fahrten bis zu 2—5fachen Werten der Ausgangszahlen an. Der Höhepunkt bei mehrstündigem Aufenthalt in Höhen von 2600—3000 m ist teils sofort nach Ankunft, teils wenige Stunden später erreicht. Auch werden die stärksten Anstiege — und dies gilt vor allem für die zweitägigen Fahrten mit Uebernachtung in der Höhe — erst nach Rückkehr ins Tal festgestellt. Das Verhalten dieser Zellen zeigt eine wesentlich größere Unregelmäßigkeit als das der Erythrozyten. Der Grund dafür ist in den mannigfachen Ursachen zu suchen, die außer dem Höhenklima zu einem vermehrten Auftreten dieser Zellen im peripheren Blut führen.

Nach dem erwähnten Erythrozytensturz am Abend des ersten Tages steigen bei längerem Aufenthalt die Erythrozyten langsam zu

Werten an, die über den Normalzahlen liegen, und fallen auch bei Rückkehr ins Tal nicht sofort wieder ab.

Die Retikulozytenzahl bleibt bereits vom 2. bis 3. Tag an, abgesehen von den schon erwähnten Tagesschwankungen, ziemlich konstant und liegt nicht oder nur wenig über den im Tal beobachteten Zahlen.

Umfangreiche Untersuchungen von Blutausstrichen und Differenzierungen des weißen Blutbildes ergaben keinerlei Anhaltspunkte für Veränderungen nach kurzen Bergfahrten. In einzelnen Fällen wurde am 2. und 3. Tag eine Eosinophilie (9%) festgestellt. Die Verschiebung zugunsten der Lymphozyten konnte nicht beobachtet werden.

Angeregt durch die Veröffentlichungen Richter's, der bei der internationalen Himalaja-Expedition 1931 den Teilnehmern zur besseren Akklimatisation Hepatratbohnen verabreichte, wurden bei einigen Zugspitzfahrten Hepatratbohnen in der üblichen Dosis eingenommen, ohne daß die vorgenommenen Retikulozytenzählungen einen Unterschied gegenüber den Fahrten ohne Hepatratverwendung erkennen ließen. Bevor aber die Verwendung von Leberpräparaten als wirkungslos bei derartigen Bergbahnfahrten abgelehnt werden sollte, wurde neben den Retikulozytenbestimmungen auch das Verhalten von Erythrozyten und Hb. untersucht. Es fand sich hier eine ganz bedeutende Zunahme der roten Blutzellen sowie des Blutfarbstoffes:

		Ery.	Hb.	Ret.
Ausgangswerte:		4 800 000	95%	10‰
In den folgenden 3 Tagen vor der Zugspitzfahrt wurden 15 Hepatratbohnen eingenommen.				
Schneefernerhaus (2650 m)				
sofort nach Ankunft		5 540 000	119%	10‰
Zugspitzgipfel	18 Uhr	5 400 000	122%	11‰
		Kein Erythrozytensturz!		
„	21 Uhr	—	124%	6‰
„	9 Uhr			
nach Uebernachten im Münchner Haus (2960 m)		—	—	9‰
		Hepatrat abgesetzt!		
Schneefernerhaus	14 Uhr 30	4 990 000	103%	12‰
München	22 Uhr	5 010 000	97%	17‰

Demnach reagierte der Blutfarbstoff am stärksten auf die Hepatratgaben. Der gewöhnlich eintretende Erythrozytensturz am ersten Abend blieb aus. Nach Absetzen des Leberpräparates war erhebliche Hb.-Verminderung festzustellen. Der starke Ret.-Anstieg nach der Talfahrt stimmt mit den bisherigen Befunden überein.

Es handelt sich bei diesen Versuchen mit Leberpräparaten um Stichproben. Um die Brauchbarkeit dieser Mittel zur schnelleren Akklimatisation und zur Verhinderung der Bergkrankheit zu prüfen, müßten umfangreichere Untersuchungen angestellt werden. Doch scheint Hepatrat, vor allem, wenn mit den Gaben mehrere Tage vor der Bergfahrt begonnen wird, einen günstigen Einfluß auf die Anpassung an große Höhen zu haben. Die Tatsache, daß Vitamine, vor allem Vitamin C, zu einer starken Retikulozytose führen, demnach zum mindesten eine Blutdepotausschüttung zur Folge haben, wahrscheinlich aber auch blutbildenden Einfluß ausüben, gab die Anregung, Vitaminpräparate ebenfalls zur Beschleunigung der Akklimatisation zu verwenden.

Bei einer zweitägigen Zugspitzfahrt wurden dreimal 0,05 Cebion peroral gegeben.

1)	7 Uhr	München.
	7 Uhr 15	0,05 Cebion.
	11 Uhr	Fahrt von Garmisch bis Schneefernerhaus 2650 m. Nachmittags Skifahrt zum Schneefernerkopf 2800 m.
	16 Uhr 30	Fahrt zum Zugspitzgipfel.
2)	18 Uhr	Zugspitzgipfel.
	19 Uhr	0,05 g Cebion.
3)	21 Uhr	Münchner Haus. Uebernachten im Münchner Haus.
	9 Uhr	0,05 g Cebion.
4)	9 Uhr 15	Münchner Haus.
5)	11 Uhr	Schneefernerhaus.
6)	14 Uhr 30	Schneefernerhaus.
7)	16 Uhr 15	Schneefernerhaus.
8)	22 Uhr	München.

	Ery.	Hb.	Ret.
1)	4 800 000	—	4‰
2)	5 660 000	111%	10‰
3)	—	115%	6‰
4)	—	—	9‰
5)	5 240 000	114%	11‰
6)	5 110 000	112%	4‰
7)	—	—	4‰
8)	4 960 000	92%	11‰

Es besteht wohl kein Zweifel, daß die hohen Erythrozyten- und vor allem Hb.-Werte als Folge einer besonders starken Ausschüttung der Blutdepots auf Grund der Vitaminwirkung aufzufassen sind. Die Leistungsfähigkeit war gegenüber früheren Fahrten ohne Verwendung von Cebion gesteigert. Es ist natürlich fraglich, ob eine regelmäßige Verwendung dieser Präparate über längere Zeit, vor allem in den etwas reichlichen Mengen nicht unangenehme Folgen in Form einer plötzlichen Erschöpfung nach sich zieht. Anderseits ist Cebion sicher geeignet, bei Ermüdungserscheinungen auf Bergtouren zu einer vorübergehenden Leistungssteigerung zu führen.

Bei der schon erwähnten Medizinerexkursion auf die Zugspitze im Dezember 1936, bei der das auffallende Absinken der Erythrozytenwerte im Laufe des Tages erstmalig beobachtet wurde, nahmen 4 Teilnehmer vor Antritt der Fahrt in Garmisch je 0,05 g Cebion ein. Die Ergebnisse waren nicht einheitlich: 2 Teilnehmer zeigten denselben Erythrozytensturz wie die Mehrzahl der Untersuchten. Bei den übrigen 2 Versuchspersonen war eine Zunahme der Erythrozytenzahl um 8—900 000/cmm am Abend dieses Tages festzustellen.

Im Anschluß an die Fahrten am 27. Januar und 5. Februar 1937, die unter bestimmten Ernährungsbedingungen stattfanden, wurde unter gleichen Bedingungen eine Fahrt nach einer Gabe von 0,05 Cebion durchgeführt. Die Ergebnisse gibt die Tabelle wieder.

Unter gleichen Ernährungsbedingungen wie die Fahrt am 27. Januar 1937 fand am 5. Januar 1937 eine Zugspitzfahrt statt. Vor der Abfahrt in Garmisch wurde 0,05 g Cebion peroral gegeben. Untersuchungszeiten wie bei den beiden letzten Fahrten.

	M.C.			W.B.		
	Ery.	Hb.	Ret.	Ery.	Hb.	Ret.
1)	4 670 000	84%	2‰	4 620 000	85%	10‰
2)	4 330 000	904%	3‰	4 430 000	92%	9‰
3)	4 700 000	89%	9‰	5 410 000	88%	9‰
4)	4 690 000	90%	4‰	4 850 000	90%	10‰
5)	4 470 000	86%	4‰	4 240 000	89%	9‰

Auffallend ist der Hämoglobinanstieg, der dem höchsten Erythrozytenwert um zwei Stunden vorausgeht. Im übrigen ist lediglich der konstante Ret.-Wert bei der Versuchsperson W. B. beachtenswert.

Ein Vergleich der Untersuchungsbefunde bei derselben Versuchsperson bei den drei letzten Fahrten ergibt bei Verwendung von Cebion die höchsten Erythrozytenwerte (die etwas höheren Ausgangswerte mit eingerechnet) und den regelmäßigsten Verlauf der Retikulozytenkurve.

In der folgenden Tabelle sind die Werte einer Versuchperson A) dem Talversuch, B) der Zugspitzfahrt am 27. Januar und der Fahrt am 5. Februar unter Verwendung von Cebion C) zusammengestellt.

4 320 000	89%	10‰	4 250 000	86%	6‰	4 620 000	85%	10‰
4 460 000	92%	4‰	4 880 000	88%	15‰	4 430 000	92%	9‰
4 590 000	87%	11‰	4 320 000	80%	19‰	5 410 000	88%	9‰
4 410 000	89%	7‰	4 290 000	82%	11‰	4 850 000	90%	10‰
4 440 000	89%	8‰	4 410 000	84%	6‰	4 240 000	90%	9‰

Nach Verwendung von Leber- oder Vitaminpräparaten bei kurzen Bergfahrten bis 3000 m Höhe ist eine starke Zunahme der roten Blutzellen und des Blutfarbstoffes wahrzunehmen. Die Leistungssteigerung gegenüber Fahrten ohne Verwendung dieser Mittel ist, soweit nicht Autosuggestion dafür verantwortlich zu machen ist, deutlich wahrnehmbar. Die Zahl der Retikulozyten ist eher vermindert als vermehrt, was dafür spricht, daß die Wirkung dieser Medikamente entweder darin beruht, daß die Blutdepots ausgepumpt werden ohne entsprechende Neubildung von Zellen oder die Reifung jugendlicher Erythrozyten so beschleunigt wird, daß ihr Anteil am strömenden Blut sogar vermindert wird.

Zusammenfassung.

Nach dem Vorausgegangenen ist es unzweifelhaft, daß auch bei nur wenige Stunden dauernden Bergbahnfahrten und Bergtouren in Höhen bis 3000 m eine sichtbare Veränderung im Blutbild vor sich geht. Diese Veränderungen zeigen sich sowohl in der Vermehrung der Retikulozyten wie auch in Zahlenverschiebungen der Erythrozyten. Unterschiede in der Blutfarbstoffmenge sind erst etwa am 2. Tage des Höhenaufenthalts einigermaßen deutlich meßbar. Im weißen Blutbild sind zunächst keine Verschiebungen zu erkennen, als erstes Zeichen der Reaktion kommt es mitunter zu einer Eosinophilie.

Herrn Prof. Dr. G. Boehm danke ich herzlich für die Ueberlassung des Themas sowie für die Unterstützung, die er mir bei Durchführung der Versuche angedeihen ließ. Der Leitung der Forschungsstation Jungfraujoch danke ich für die Ueberlassung der Arbeitsplätze für meine Mitarbeiter und mich. Dank gebührt ferner der Direktion der Jungfraubahn und Gornergratbahn für ihr Entgegenkommen. Vor allem hat die Bayer. Zugspitzbahn die Unternehmungen in großzügiger Weise gefördert, wofür ich ganz besonders danke.

Literaturverzeichnis

Adler und Schiff: Deutsches Archiv für klinische Medizin 161/5/6.

Bruce C. G.: Mount Everest. Der Angriff 1922.

Bauer Paul: Der Kampf um den Himalaja. München 1931.

— Um den Kantsch. München 1933.

Barcroft J.: Die Atmungsfunktion des Blutes. Berlin 1927.

Bethge, v. Bergmann, Embden, Ellinger: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Berlin 1928.

Becker, Bohnenkamp, Heilmeyer und Hering: Lehrbuch der speziellen pathologischen Physiologie.

Bürker K.: Münchener medizinische Wochenschrift 1905/52.

Dyrenfurth G. O.: Himalaja. Unsere Expedition 1930. Aerztlicher Bericht von Dr. Richter. Basel 1931.

— Dämon Himalaja. Basel 1935.

Ergebnisse der Monte-Rosa-Expedition und des Stoffwechselversuchs in Alagna.

Ederle: Klinische Wochenschrift 1933/I.

Engel: Wiener Archiv für innere Medizin 1923/7/1.

Fick A.: Pflügers Archiv 1895, Bd. 60.

Finch G. J.: Der Kampf um den Everest. Leipzig 1925.

Fischer E. und F. Verzar: Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin 1931/80.

Gollwitzer und Meier: Klinische Wochenschrift 1931/10.

Hartmann H.: Klinische Wochenschrift 1933/458.

Hoeber Rud.: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Berlin 1934.

Henderson: Blut, seine Pathologie und Physiologie. Leipzig 1932.

Heilmeyer, Recknagel und Albus: Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin. Bd. 90/5.

Hirschfeld H. und A. Hittmair: Handbuch der allgemeinen Hämatologie.

Howard-Bury: Mount Everest, die Erkundungsfahrt 1921.

Jarisch und Ludwig: Archiv für experimentelle Pathologie 1927.

Kämmerer: Münchener medizinische Wochenschrift 1932/I.

Kaulen: Deutsche medizinische Wochenschrift 1917/43.

Knoll W.: Blut und die blutbildenden Organe menschlicher Embryonen. Zürich 1927.

— Schweizerische Monatsschrift.

Komiya: Münchener medizinische Wochenschrift 1926/44.

Landois-Rosemund: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Berlin 1929.

Lauda E. und Haam E.: Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin 1931/80.

Leschke Erich: Die Wechselwirkung der Blutdrüsen. Leipig 1933.

Loewy Arthur: Physiologie des Höhenklimas. Berlin 1932.

Ludwig Herbert: Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin 1931/80.

Meyer und Seyderhelm: Deutsche medizinische Wochenschrift 1916/42.

Müller-Seifert: Taschenbuch der medizinischen Diagnostik. München 1928.

Nägeli Otto: Blutkrankheiten und Blutdiagnostik. Lehrbuch der allgemeinen Hämatologie. Berlin 1932.

Nierenstein: Ueber das Wesen der Vitalfärbung. Pflügers Archiv Nr. 179. Berlin 1920.

Norton E. F.: Bis zur Spitze des Mount Everest. Die Besteigung 1924. Basel 1926.

Römisch W.: Festschrift zum 50jährigen Bestehen des Städtischen Krankenhauses in Dresden. Dresden 1899.

Ruppaner: Schweizer medizinische Wochenschrift 1920, Bd. 50.

Schilling Viktor: Das Blutbild. Jena 1933.

Seyderhelm Rich. und Grebe H.: Vitamine und Blut. Leipzig 1935.

Seyfarth Carly: Klinische Wochenschrift, 6. Jahrg. Nr. 11.

Strümpell-Seyfarth: Lehrbuch der speziellen Pathologie und Therapie innerer Krankheiten.

Tsonos: Klinische Wochenschrift 1933/I.

Theorie und Praxis in der Medizin, 2. Jahrg. Nr. 2.

Weigelt: Deutsche medizinische Wochenschrift 1923/33.

Wollheim: Zeitschrift für klinische Medizin 1928/8.

Wolfer: Klinische Wochenschrift 1931/33.

Zuntz, Loewy, Müller und Caspary: Höhenklima und Bergwanderungen. Berlin 1906.

Zuntz, Loewy: Pflügers Archiv 66. Berlin 1897.

Lebenslauf

Geboren wurde ich, Willi Berten, am 6. Mai 1910 als Sohn des Arztes und Zahnarztes Dr. Wilhelm Berten in München. Die Volksschule besuchte ich von 1916—1920 in München. Von 1920 bis 1929 war ich am Humanistischen Gymnasium in Ettal, wo ich am 21. März 1929 die Reifeprüfung bestand. Die ersten drei Semester meines medizinischen und zahnärztlichen Studiums verbrachte ich in München, studierte dann zwei Semester in Würzburg, wo ich nach dem Sommersemester 1931 die medizinische und zahnärztliche Vorprüfung bestand. Die klinischen Semester verbrachte ich an der Wiener und Münchener Universität. Das zahnärztliche Staatsexamen bestand ich am 28. April 1933, das ärztliche Staatsexamen am 21. Dezember 1935 in München. Während des praktischen Jahres arbeitete ich 7 Monate in der chirurgischen Abteilung des Zahnärztlichen Instituts, 3 Monate am Institut für physikalische Therapie und Röntgenologie, 2 Monate in der inneren Abteilung des Krankenhauses l. d. I. in München.